

Aus dem Funktionsbereich für Hand- und funktionelle Mikrochirurgie (Leiter Univ.-
Prof Dr. A. Eisenschenk)
der Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
(Direktor Univ.-Prof Dr. A. Ekkernkamp) der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-
Arndt-Universität Greifswald

Objektiv funktionelles, subjektives und radiologisches Outcome in Abhängigkeit vom Verletzungsalter operativ versorgter Verletzungen des skapholunären Bandes

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des akademischen
Grades
Doktor der Medizin
(Dr. med.)
der
Universitätsmedizin
der
Universität Greifswald
2020

vorgelegt von: Wiebke Christine Mensing
geb. am: 15.06.1991
in: Berlin

Dekan:

1. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Eisenschenk

2. Gutachter: Prof. Dr. Joachim Windolf

Ort, Raum: Greifswald, Seminarraum J02.42

Tag der Disputation: 02.12. 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Ziele	1
2	Einleitung	2
2.1	Das karpale Bandsystem des Menschen	2
2.2	Die Mechanik des Karpus.....	4
2.3	Die karpale Instabilität.....	5
2.4	Die skapholunäre Instabilität	6
2.4.1	Definition	6
2.4.2	Pathogenese	7
2.4.3	Pathomechanik und Verlauf	7
2.4.4	Stadieneinteilung	10
2.4.5	Therapie.....	12
2.5	Historischer Überblick der Bandrekonstruktion mittels Sehnenplastik	16
2.6	Fragestellung	18
3	Material und Methoden.....	19
3.1	Patienten	19
3.1.1	Patientenidentifikation und Einschlusskriterien	19
3.1.2	Ausschlusskriterien	20
3.2	Präoperative Diagnostik	20
3.2.1	Algorithmus zur Behandlung von skapholunären Dissoziationen	20
3.3	Operationstechnik	21
3.3.1	Prinzip der 3LT-Rekonstruktion nach Garcia-Elias	21
3.3.2	Verwendete operative Technik.....	22
3.3.3	Vorgehen nach der Operation	26
3.4	Messparameter.....	27
3.4.1	Messbögen.....	27
3.4.2	Fragebögen	28
3.4.3	Röntgenuntersuchungen	31
3.5	Statistische Auswertung	33
3.5.1	Röntgenologische Parameter.....	33
3.5.2	Männlich - Weiblich.....	34
3.5.3	Korrelation	34
4	Ergebnisse	35

4.1	Darstellung des Patientenkollektivs.....	35
4.1.1	Drop-outs.....	36
4.1.2	Nachträglicher Ausschluss von Patienten	36
4.1.3	Demographische Daten	36
4.2	Ergebnisse der Untersuchung der 3LT-Gruppe.....	38
4.2.1	Dominanz und Seitenverteilung der operierten Hand	38
4.2.2	Ipsilaterale Begleitverletzungen	38
4.2.3	Zeiträume	38
4.3	Auswertung der objektiv klinischen Funktionsparameter	39
4.3.1	Handspanne und Bewegungsumfang des Handgelenks	39
4.3.2	Kraft	43
4.3.3	Mayo-Wrist-Score.....	45
4.4	Auswertung der subjektiven Parameter	46
4.4.1	Numerische Rating-Skala.....	46
4.4.2	DASH-Score.....	47
4.4.3	PRWE-Score	47
4.5	Auswertung der Radiologischen Daten	47
4.5.1	SL-Spalt.....	48
4.5.2	SL-Winkel	48
4.5.3	RL-Winkel.....	49
4.6	Komplikationen	50
4.7	Vergleich von männlichen und weiblichen Patienten	50
4.7.1	Vergleich der Bewegungsdaten.....	50
4.7.2	Vergleich der subjektiven Parameter	51
4.7.3	Vergleich der Röntgendaten.....	52
4.8	Auswertung der Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter.....	52
4.8.1	Auswertung der Funktionsparameter in Abhängigkeit vom Verletzungsalter ...	52
4.8.2	Auswertung der subjektiven Parameter in Abhängigkeit vom Verletzungsalter	53
4.8.3	Auswertung der radiologischen Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter.	54
4.8.4	Auswertung der Krankschreibungsdauer in Abhängigkeit vom Verletzungsalter	55
4.9	Ergebnisse der Untersuchung der Alternativ-Gruppe	56
4.9.1	Demographische Daten	56
4.9.2	Objektiv klinische Funktionsparameter	57

4.9.3	Subjektive Parameter.....	57
5	Diskussion.....	58
5.1	Einleitung.....	58
5.2	Auswahl der Vergleichsliteratur und Studienaufbau.....	58
5.3	Patientenkollektiv	60
5.4	Objektiv klinische Funktionsparameter.....	61
5.4.1	Bewegung.....	61
5.4.2	Kraft	62
5.5	Subjektive Parameter	63
5.5.1	Postoperative Schmerzen	63
5.5.2	DASH-Score und PRWE	64
5.6	Radiologische Ergebnisse.....	65
5.7	Komplikationen	69
5.8	Berufliche Auswirkungen.....	69
5.9	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	70
5.10	Vergleich von männlichen und weiblichen Patienten	71
5.11	Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter	71
5.11.1	Objektive Funktionsparameter	73
5.11.2	Subjektive Parameter.....	73
5.11.3	Radiologische Befunde	74
5.12	Alternative Methoden	74
5.13	Methodenkritik	75
5.14	Ausblick.....	76
6	Zusammenfassung.....	77
7	Anhang.....	79
8	Abkürzungsverzeichnis.....	83
9	Abbildungsverzeichnis.....	86
10	Tabellenverzeichnis	89
11	Literatur.....	90
12	Eidesstattliche Erklärung	106
13	Danksagung.....	107

1 Hintergrund und Ziele

Eine Teil - oder Komplettruptur des SL-Bandes führt i.d.R. zu einer skapholunären Instabilität, welche zu einer erheblichen Veränderung der Gelenkmechanik und somit zeitversetzt zu degenerativen Veränderungen des Karpus führt. Bezüglich einer geeigneten Behandlung der chronischen SL-Bandruptur besteht nach wie vor Unsicherheit und Uneinigkeit.

Die 3LT-Rekonstruktion ist derzeit weit verbreitet bei der Behandlung der chronischen nicht mehr rekonstruierbaren SL-Bandruptur mit reponibler Rotationssubluxation und fehlender Knorpeldegeneration. Durch die Methode soll die Fehlstellung des Skaphoids, der erweiterte SL-Spalt und die DISI-Fehlstellung mit Hilfe der Sehne des M. flexor carpi radialis (FCR) reduziert werden.

Ziel der retrospektiven Studie war es, den therapeutischen Nutzen der 3LT-Technik bei Patienten mit chronischer skapholunärer Instabilität ohne Anzeichen von Arthrose zu untersuchen, um die Bedeutung dieser Technik für den aktuellen klinischen Alltag zu evaluieren. Hierbei wurden die objektiv klinische Funktionalität des operierten Handgelenks im Vergleich zur gesunden Gegenseite, die subjektiv postoperative Zufriedenheit und die radiologisch erfassten Daten berücksichtigt. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse in Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt in Bezug auf den Verletzungszeitpunkt betrachtet.

2 Einleitung

2.1 Das karpale Bandsystem des Menschen

Das karpale Bandsystem lässt sich in ein intrinsisches Bandsystem und in ein extrinsisches Bandsystem unterteilen. Das intrinsische Bandsystem verbindet die Handwurzelknochen untereinander und das extrinsische Bandsystem verbindet Unterarm- und Mittelhandknochen mit den Handwurzelknochen [1]. Hieraus resultiert einerseits eine differenzierte Funktion und andererseits wird eine Luxation der Karpalia verhindert [2].

Zu dem intrinsischen System gehören zum einen die interossären Bänder, die jeweils zwei karpale Knochen innerhalb der proximalen oder distalen Reihe miteinander in Verbindung setzen und zum anderen die interkarpalen Bänder, die Knochen zwischen der proximalen und distalen Reihe zusammenführen.

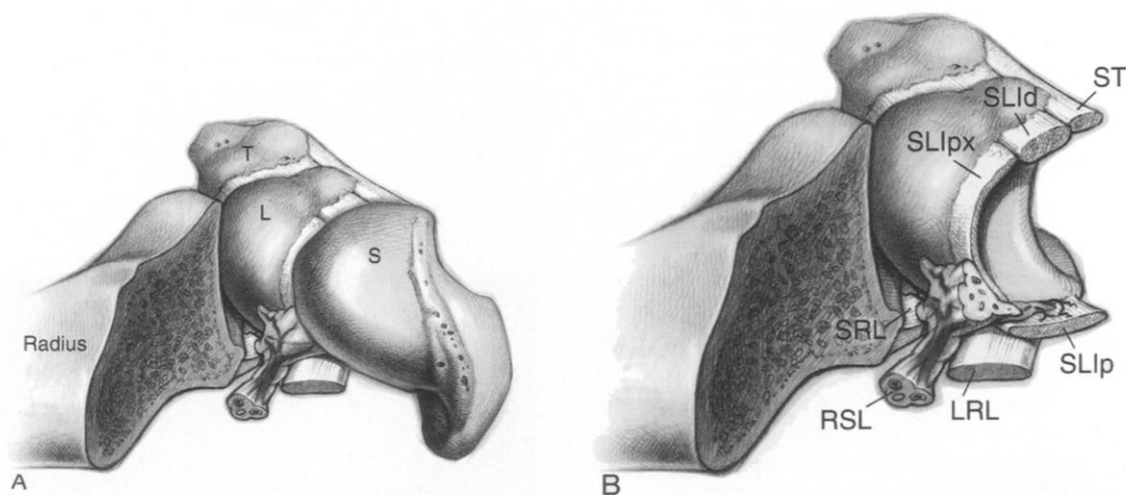


Abbildung 1: Darstellung der Beziehung zwischen Radius und Lig. scapholunatum aus einer radial-proximalen Perspektive. S = Skaphoid, L = Lunatum, T = Triquetrum, RSL = Lig. Radioscapholunatum, LRL = Lig. radiolunatum longum, SRL = Lig. radiolunatum breve, SLI = Lig. scapholunatum; px = proximal, d = dorsal, p = palmar [3]

Das skapholunäre Band (SL-Band) ist ein hufeisenförmiges, interossäres Band zwischen proximalem Skaphoid und Lunatum. Damit trägt es maßgeblich zur Stabilisierung der proximalen Reihe bei [4]. Es hat eine durchschnittliche Gesamtlänge von 18 mm und lässt sich anatomisch in einen dorsalen, proximalen und palmaren Anteil einteilen (siehe Abbildung 1) [3,5]. Die unterschiedliche Beschaffenheit der einzelnen Anteile führt zu jeweils unterschiedlichen biomechanischen Funktionen [5]. Der dorsale Anteil besteht aus parallel zueinander verlaufenden, straff gespannten, 2-3 mm dicken Kollagenfasern [1,10]. Er liegt intrakapsulär und geht distal in das dorsale radiotriquetrale Band (RTq) über [4]. Zudem stellt

er den biomechanisch belastbarsten Anteil dar und ist damit für den wesentlichen Teil der Stabilität des Zusammenhalts von Skaphoid und Lunatum verantwortlich. Weiterhin spielt er für den Ablauf einer kontrollierten Rotation und Translation eine zentrale Rolle [6–8]. Der proximale, mittlere und somit zentral gelegene Anteil des SL-Bandes stellt eine von dorsal nach palmar ziehende fibrokartilaginäre Schicht dar, die zwischen den proximalen knorpelüberzogenen Flächen der beiden Knochen liegt [3]. Er trennt dabei den mediokarpalen vom radiokarpalen Gelenkraum. Dieser Bereich hat keine wesentliche Bedeutung für die Stabilität und stellt den schwächsten Abschnitt des SL-Bandes dar [4]. Der intrakapsulär liegende, lediglich 1 mm dünne, palmare Anteil des SL-Bandes weist einen schrägen Faserverlauf auf. Dieser begünstigt die sagittale Rotationsbewegungen des Skaphoids in Bezug auf das Lunatum [9]. Am palmaren Anteil des SL-Bandes inseriert das Ligamentum radioscapulolunatum (RSL). Dieses führt bei operativen Eingriffen über den radiokarpalen Zugang zu einer eingeschränkten Sicht auf die palmare Region des SL-Bandes [3].

Die Stabilität des skapholunären Gelenks wird zusätzlich durch das extrinsische Bandsystem unterstützt, bei dem die sogenannten sekundären Stabilisatoren in die Gelenkkapsel einstrahlen [10–12]. Einen Überblick über die extrinsischen karpalen Bandstrukturen gibt Abbildung 2.

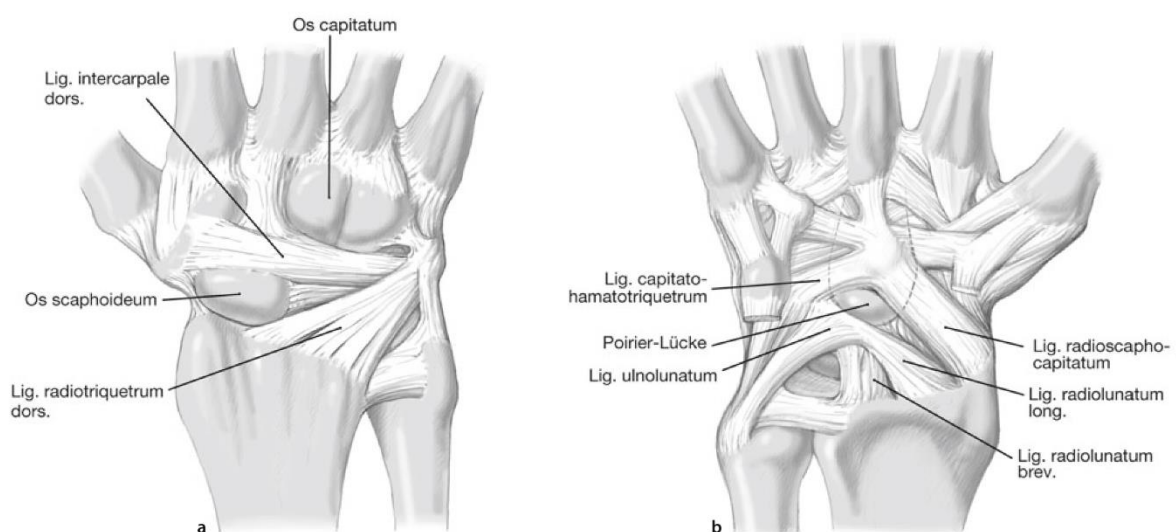


Abbildung 2: Übersicht über die extrinsischen karpalen Bänder. **a** Ansicht von palmar. **b** Ansicht von dorsal [2].

Das Skaphoid tendiert zu einer palmaren Flexionsbewegung, der das Lig. scaphotrapezium (ST) und das kräftige Lig. radioscaphocapitatum (RSC) entgegenwirken [13]. Auch die Sehne des M. flexor carpi radialis (FCR), bedingt durch ihren Verlauf um das Tuberculum ossis scaphoidei, führt eine antagonisierende Bewegung gegenüber der Flexionstendenz aus [14]. Eine weitere Stabilisierung erfolgt durch die Verbindung des Skaphoids und der distalen Handwurzelreihe durch das Ligamentum scaphocapitatum (SC) [15]. Das Lunatum tendiert

hingegen nach palmar aus dem Karpus zu rutschen und gleichzeitig nach dorsal in Extension zu rotieren [16]. Dem wirkt das Lig. radiolunotriquetrum (RLT) entgegen. Zudem führen von dorsal das Lig. radiolunotriquetrum dorsale (RTq), als auch das Ligamentum intercarpale dorsale (DIC) zu einer Stabilisation des skapholunären Kompartiments. Diese beiden Strukturen bilden das dorsale V-Band [10,12,13,17,18].

2.2 Die Mechanik des Karpus

Das Zusammenspiel der aufeinander abgestimmten Gelenkflächen und der stabilisierenden und restringierenden Bänder erlaubt einen größtmöglichen Bewegungsumfang des Handgelenks bei fortwährender Stabilität aller beteiligten Gelenkreihen (radio/ulno-karpal, mediokarpal und karmo-metakarpal) sowie innerhalb der Handwurzel. Es wurden bereits verschiedene Modelle zur Stabilität und Biomechanik der Handwurzel entwickelt [4].

Ein weit verbreitetes Konzept stellt das Ringmodell nach Lichtmann dar. Es beschreibt die Handwurzel als einen unter Spannung stehenden Ring, der die karpalen Elemente über die Bänder, die Gelenkgeometrie und die internen Kraftvektoren zusammenhält [2]. Die distale Reihe ist fixiert, wohingegen die proximale Reihe ein zwischengeschaltetes Segment ohne Muskel- und Sehnenansätze ist. Die proximale Reihe wird nur durch den umgebenden Kapselbandapparat und die interossären Bandverbindungen zwischen Skaphoid, Lunatum und Triquetrum zusammengehalten und wird somit flexibel mitbewegt [4].

Die Bewegung des Handgelenks weist zwei grundsätzliche Bewegungsebenen auf. Zum einen die Sagittalebene, die eine Palmarflexion und eine Dorsalextension um die 60° erlaubt und zum anderen eine Frontalebene, die eine Radialabduktion um die 20° und eine Ulnarabduktion um die 35° ermöglicht [19]. Die Bewegungen finden zwischen den mediokarpalen und radiokarpalen Gelenken, aber auch interkarpal zwischen einzelnen Handwurzelknochen statt [2]. Aus einer Kombination der oben genannten Bewegung entsteht die sogenannte "dart-throwing-motion" (dt. Dartwurfbewegung) des Handgelenks. Die Dartwurfbewegung findet aufgrund ihrer Relevanz bei der Durchführung von Aktivitäten des täglichen Lebens zunehmend Beachtung. Es kommt dabei zu einem Übergang aus der Radialduktion-Extension in die Ulnarduktion-Flexion und umgekehrt, bei der besonders das Mediokarpalgelenk beteiligt ist [22,101,102]. Während der Flexion des Handgelenks gleiten die distalen Handwurzelknochen nach palmar und proximal. Die proximale Reihe der Handwurzel kippt in eine Flexionsstellung gegenüber dem Radius. Während der Extension kommt es zu einer Verlagerung der distalen Handwurzelreihe nach dorsal und proximal. Die proximale

Handwurzelreihe kippt bezogen auf den Radius in eine Extensionsstellung [2]. Die Seitwärtsbewegungen bewirken ein zueinander gegenläufiges Gleiten der Handwurzelreihen, wobei es zu einer Höhenminderung des Karpus kommt. Bei der Radialduktion bewegt sich die distale Reihe nach radial und die proximale nach ulnar. Des Weiteren kommt es zur Palmarflexion der gesamten proximalen Handwurzelreihe, wobei Kapitatum und Hamatum sich mehr palmarseitig in Relation zur proximalen Reihe bewegen. Während der Ulnarduktion gleitet die proximale Handwurzelreihe nach ulnar, die distale nach radial und es kommt zu einer Dorsalextension des Skaphoids (siehe Abbildung 3) [2].

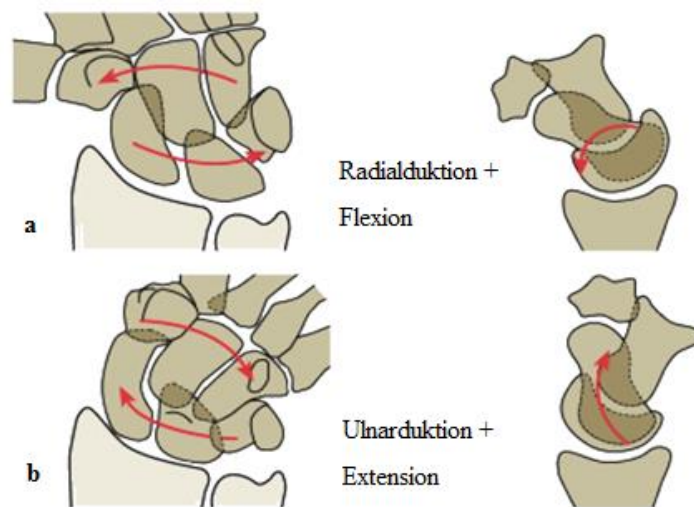


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Bewegungsrichtung der Karpalknochen bei seitlicher Abweichung des Handgelenks. **a** Radialduktion/Flexion: Die proximale Karpalreihe ist in Flexionsstellung. **b** Ulnarduktion/Extension: Die proximale Karpalreihe steht in Extensionsstellung [15].

2.3 Die karpale Instabilität

Die karpale Instabilität beschreibt eine unter Umständen dynamische Abweichung der physiologischen Stellung der im Karpus artikulierenden Knochen untereinander und zum Radius [4]. Dieser Zustand kann in Folge von Frakturen, Bandläsionen oder entzündlichen Veränderungen auftreten, wobei skapholunäre Bandrupturen den häufigsten und klinisch bedeutsamsten Teil darstellen [16]. In der Vergangenheit gab es zahlreiche Versuche die komplexen Formen der karpalen Instabilität zu klassifizieren [4]. Eine gebräuchliche Einteilung ist die des International Wrist Investigators Workshop (IWIW, 2002), welche die karpale Instabilität in drei verschiedene Dissoziationsbilder einteilt. Diese Einteilung basiert auf der Kontinuität (nicht-dissoziative Instabilität) oder Diskontinuität (dissoziative Instabilität) der proximalen Handwurzelreihe [20,21]. Eine nichtdissoziative karpale Instabilität (engl.: Carpal Instability Non-Dissociative = CIND) entsteht durch Schäden der extrinsischen Bänder zwischen distalem Radius und proximaler oder distaler Handwurzelreihe [2]. Durch die

aufgehobene Stabilität des Karpus kommt es zu einer gestörten Artikulation der proximalen gegenüber der distalen karpalen Reihe (mediokarpale Instabilität) oder zu einer Subluxationstendenz bzw. Luxationstendenz im Radiokarpalgelenk (radiokarpale Instabilität) [16]. Eine dissoziative karpale Instabilität (engl.: Carpal Instability Dissociative = CID) basiert auf einer Unterbrechung der intrinsischen Bänder innerhalb der proximalen oder distalen Handwurzelreihe, wobei es zu einer Verschiebung einzelner Karpalknochen zueinanderkommen kann. Aber auch Frakturen der Handwurzelknochen sowie mobile Skaphoidpseudarthrosen können zu einer CID führen [2,22]. Die CID gehört zur häufigsten und klinisch relevantesten karpalen Instabilitätsform [16]. Liegen beide zuvor genannten Instabilitätsmuster vor, spricht man von einer komplexen karpalen Instabilität (engl.: Carpal Instability Complex = CIC) [23]. Eine erst in den letzten Jahren häufiger beschriebene Gruppe ist die der adaptiven karpalen Instabilität (engl.: Carpal Instability Adaptive = CIA). Dieser Form liegt eine, durch extrakarpale knöcherne Fehlstellung verursachte, sekundäre Gefügestörung des Karpus zugrunde [20,24].

2.4 Die skapholunäre Instabilität

2.4.1 Definition

Die skapholunäre Dissoziation infolge einer teilweisen oder kompletten Ruptur des SL-Bandapparates wird der Gruppe der dissoziativen karpalen Instabilität (CID) zugeordnet und stellt den häufigsten sowie klinisch bedeutendsten Anteil der karpalen Instabilität dar [15]. Erst durch eine zusätzliche Verletzung oder langfristige Kompromittierung der extrinsischen Bänder kommt es in Folge zu einer erheblichen Veränderung der karpalen Gelenkmechanik und somit langfristig zu degenerativen Veränderungen des Karpus [7,15]. Der Begriff der skapholunären Instabilität beschränkte sich zunächst auf die sichtbare Fehlstellung von Skaphoid und Lunatum im Nativröntgenbild. Mittlerweile wurde der Begriff auf Verletzungen erweitert, in denen es unter Belastung zu Symptomen und einer unphysiologischen Bewegung kommt [7,25]. Die SL-Bandruptur ist schwierig zu diagnostizieren, weil oft eine nur geringe Verbreiterung des Gelenkspalts vorliegt oder die Ruptur und die damit resultierende Instabilität durch andere, offensichtlichere Verletzungen verdeckt wird [16,25–27]. Dabei ist besonders das rechtzeitige Erkennen und Behandeln der Ruptur von besonderer Bedeutung, um langfristig einer Degeneration der Handwurzelknochen vorzubeugen [27]. Da die Verletzung nicht selten erst spät diagnostiziert wird und der Zeitpunkt einer spezifischen Therapie einen unter Umständen wesentlichen Einfluss auf die Prognose hat, ist eine zeitliche Einordnung des Geschehens

sinnvoll. Allgemein liegt ein Akutstadium vor, wenn das Trauma weniger als drei Wochen zurückliegt. Liegt das Trauma länger als sechs bis acht Wochen zurück, wird vom chronischen Stadium gesprochen. Der dazwischenliegende Zeitraum, wird auch als subakutes Stadium bezeichnet. Die zeitlichen Grenzen sind dabei fließend [16,26].

2.4.2 Pathogenese

Verletzungen des SL-Bandes sind bei jungen Menschen weit verbreitet und in der Regel die Folge von Stürzen oder Verdrehtraumata mit hoher Energieeinwirkung [28,29]. Eine Verletzung des SL-Bandes tritt am häufigsten als Folge eines Hyperextensionstraumas des Handgelenks auf. Durch eine zusätzliche Ulnarduktion, wird der einwirkende Kraftvektor vergrößert [15]. Dies führt zu einer Fixierung des Skaphoids zwischen dem dorsalen Bereich der Fovea scaphoidea des Radius und dem Lig. radiocarpale. Das Lunatum hingegen kann im Vergleich zum Skaphoid weiter in Extensionsstellung gehen [2]. Gemäß der Zugbelastbarkeit des SL-Bandes wird bei einem Hyperextensionstrauma zunächst das palmare Segment geschädigt. Zu einer Ruptur des dorsalen Anteils des SL-Bandes und der sekundären Stabilisatoren kommt es erst nach einem Trauma mit sehr hoher Energieeinwirkung [5,30]. Wegen der geringeren Faserdichte reißt das Ligament bevorzugt an der skaphoidalen Insertion [31]. Die SL-Bandruptur tritt oft auch als Begleitverletzung einer distalen, intraartikulären Radiusfraktur auf und wird in diesem Zusammenhang häufig übersehen [32]. Daher sollte bei der distalen, intraartikulären Radiusfraktur eine begleitende SL-Bandruptur bedacht und ausgeschlossen werden [16]. Neben der häufigeren traumatischen Ruptur, können auch degenerative Vorgänge im Zusammenhang mit Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis, der Arthritis urica oder der Chondrokalzinose von Bedeutung sein [33]. Aber auch kongenitale Erkrankungen des Bindegewebes sowie chronische Überlastungszustände des Handgelenks sind als Ursachen der SL-Bandruptur zu finden [15].

2.4.3 Pathomechanik und Verlauf

Durch eine Ruptur des skapholunären Bandes, wird die Kopplung von Skaphoid und Lunatum aufgehoben. Dies führt zu entgegengerichteten Rotations- und Translationsbewegungen der beiden Knochen, bedingt durch die jeweiligen natürlichen Bewegungstendenzen [16]. Das Skaphoid neigt dazu, bei fehlender Bandführung unter axialem Druck nach palmar zu flektieren (sog. Rotationsinstabilität). Dies lässt sich vor allem auf die fehlende antagonisierende Funktion der sekundären Stabilisatoren, insbesondere des Lig. radioscap hocapitatum, zurückführen [34]. Zusätzlich führt die hypomochlionartige Wirkung der Flexor-carpi-radialis-Sehne (FCR) zu einer dorsalen Translationsbewegung des Skaphoids [35,36]. Die durch Palmarflexion und die

dorsale Translation bedingte Fehlstellung wird auch als "Rotationssubluxation des Skaphoids" (RSS) bezeichnet (siehe Abbildung 4) [37,38].

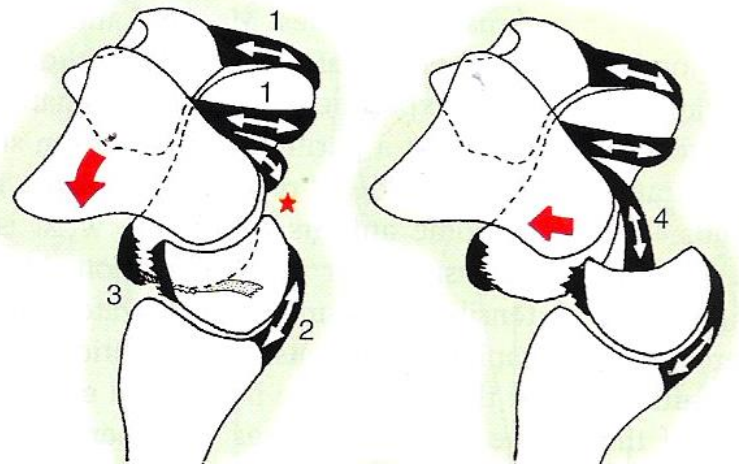


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Beginn der SL-Band-Ruptur aus der ulnaren Perspektive [25]

Das entkoppelte Lunatum hat aufgrund seiner dreieckigen Form sowie der palmaren Inklination der Radiusgelenke die Tendenz, nach palmar aus dem Karpus zu gleiten [39]. Dies hat zur Folge, dass der axiale Kraftvektor über das Kapitatum auf das Hinterhorn des Lunatums wirkt und dieses dadurch in seine Extensionsposition nach dorsal rotiert. Durch das intakte Lig. lunotriquetrum ist das Triquetrum mit dem Lunatum verbunden und wird damit in die gleiche Rotationsrichtung gezwungen [15]. Die Extensionsstellung wird durch die Zugwirkung der FCR-Sehne und durch die Anspannung des Lig. triquetrocipitatum (TC) verstärkt [36]. Diese Extensionsstellung im Vergleich zur Radiuslängsachse wird als "DISI"-Stellung (engl.: Dorsal Intercalated Segment Instability) bezeichnet und im seitlichen Röntgenbild des Handgelenks eingeschätzt [40]. Durch die veränderte Position von Skaphoid und Lunatum, kommt es zu einer Vergrößerung des Winkels zwischen den Längsachsen der beiden Knochen (SL-Winkel). In der Regel wird ein Winkel von $60^\circ \pm 15^\circ$ gemessen [41]. Die DISI-Stellung der Knochen ist anfänglich noch reversibel. Erst in Folge von sekundären Veränderungen der Bänder, kommt es zu irreversiblen Prozessen mit Fixierung der Knochenpositionen [7]. Die unphysiologische Ausrichtung des Karpus führt zu einer übermäßigen Belastung der Gelenkflächen, wodurch es im Verlauf zur Entwicklung von Arthrose in den beteiligten Gelenken und in fortgeschrittenen Stadien zu einem karpalen Kollaps kommen kann [28].

Das SLAC-Wrist (engl.: Scapholunate Advanced Collapse) als karpaler Kollaps infolge einer SL-Bandruptur wird vom SNAC-Wrist (engl. Scaphoid Non-union Advanced Collapse) als karpaler Kollaps infolge einer Degeneration bei Pseudarthrose des Skaphoids nach Fraktur

abgegrenzt. Das SLAC-Wrist kann nach Watson u. Ruy 1986 in drei Stadien eingeteilt werden [42]. Die degenerativen Veränderungen beginnen in der Regel am Radiusstyloid (SLAC Grad I) und breiten sich schrittweise nach proximal auf das gesamte radioscaphoidale Gelenk aus (SLAC Grad II) [7]. Im weiteren Verlauf kommt es zur Arthrose im Mediokarpalgelenk (SLAC Grad III). Bedingt durch den Kompressionsdruck des Kapitatus auf das Hinterhorn des Lunatums ist insbesondere das kapitolunäre Gelenk betroffen [27]. Das radiolunäre Gelenk hingegen bleibt zunächst lange Zeit von assoziierten degenerativen Veränderungen verschont. Dies ist auf die Kongruenz zwischen Lunatum und der Fossa lunata des Radius zurückzuführen. Durch die veränderte Position von Skaphoid und Lunatum kommt es zu einem Auseinanderweichen der beiden Knochen im SL-Gelenk, wodurch das Kapitatum nach proximal migriert (siehe Abbildung 5) [2,42–44]. Durch diesen Vorgang geht die karpale Höhe verloren und es resultiert der sogenannte karpale Kollaps [43]. Daraus folgt eine Störung der Krafteinwirkung und -übertragung im gesamten Karpus, die zu einem Fortschreiten der bestehenden degenerativen Prozesse führt [42]. Letztlich kommt es zur vollständigen Zerstörung der Gelenkareale des Handgelenks und der Handwurzel, was dem Endzustand des karpalen Kollapses entspricht und oft als SLAC Grad IV bezeichnet wird. Dieser Zustand entwickelt sich auch bei der oben erwähnten SNAC-Wrist. Die durchschnittliche Zeit vom initialen Trauma bis zur Entwicklung eines SLAC-Wrist ist individuell variabel und hängt unter anderem von der Schwere des Traumas, der Mitbeteiligung assoziierter Bänder, der Beschaffenheit sekundärer Stabilisatoren sowie der individuellen Konfiguration und Beanspruchung des betroffenen Handgelenks ab. Aus empirischen Daten geht hervor, dass das SLAC-Wrist ca. 3 bis 15 Jahre nach der Indexverletzung auftritt [45,46].



Abbildung 5: Röntgenbild in dorsopalmarer Aufnahme, rechtes Handgelenk. Darstellung des karpalen Kollapses mit Proximalisierung des Kapitatus durch Pfeil gekennzeichnet, einhergehend mit Verringerung der karpalen Höhe und Beginn von Arthrose radioscaphoidal. (1) Radius, (2) Ulna, (3) Skaphoid, (4) Lunatum, (5) Triquetrum, (6) Pisiforme, (7) Kapitatum, (8) Hamatum

2.4.4 Stadieneinteilung

Mittlerweile wird die Überzeugung geteilt, dass die skapholunäre Instabilität aus einem breiten Spektrum an knöchernen und ligamentären Verletzungen/Veränderungen resultiert und nicht nach dem „Alles-oder-Nichts-Prinzip“ (Folge einer einzelnen definierten Verletzung/Veränderung) entsteht [47–49]. Die von Garcia-Elias et al. dargestellte Definition der skapholunären Instabilität beschreibt auf Grundlage des Verletzungsausmaßes und der dadurch bedingten biomechanischen Veränderungen sechs Stadien, die im folgenden Abschnitt erläutert werden [47]. In der Literatur finden sich auch andere Einteilungen zur Beschreibung, die nur fünf Stadien erfassen [7,28]. Hierbei werden alle DISI-Deformitäten unter einer einzigen Überschrift (IV. DISI) zusammengefasst, wohingegen Garcia-Elias diese Kategorie in DISI mit reponibler karpaler Fehlstellung (Stadium IV) und DISI mit fixierter karpaler Fehlstellung (Stadium V) unterteilt [47].

Stadium I: Prädynamisches Stadium

Stadium I beschreibt das prädynamische Stadium der SL-Bandruptur. Es handelt sich um eine Teilruptur des palmaren und/oder proximalen Abschnitts des SL-Bandes mit intaktem dorsalem Abschnitt. Die karpale Stabilität bleibt erhalten, sodass in der Röntgenaufnahme auch unter Belastung keine Erweiterung des SL-Spalts zu erwarten ist. Dieses Stadium wird in der Regel arthroskopisch diagnostiziert [30,50]. Die Ausrichtung des Handgelenks bleibt erhalten und ein karpales Instabilitätsmuster ist nicht nachweisbar [15]. Durch Scherbelastungen, die durch eine erhöhte Beweglichkeit des skapholunären Gefüges entstehen, kann es in diesem Stadium zu Schmerzen kommen [50].

Stadium II: Dynamisches Stadium

Im Stadium II besteht eine komplette Ruptur des skapholunären Bandes, die den dorsalen Anteil miteinschließt [51]. In diesem Stadium ist der dorsale Anteil des SL-Bandes noch reparabel und die extrinsischen Ligamente sind intakt. Es besteht keine Rotationssubluxation des Skaphoids. Der skapholunäre Winkel ($\leq 60^\circ$) wie auch der radioskaphoidale Winkel in der seitlichen Röntgenaufnahme sind normal ($\approx 45^\circ$) [52]. Diese Instabilität wird erst unter axialer Belastung während der Röntgenaufnahme (sog. Stressaufnahmen wie z.B. Aufnahme nach Stecher oder Kinematografie) sichtbar [47]. Unbehandelt führt dieser Zustand zu abnormaler Kinematik und Kraftübertragung, mit Schmerzen vor allem bei Aktivitäten. Bei diesem Stadium handelt es sich um eine dynamische Instabilität [5,53].

Stadium III: Statisches Stadium

Auch das Stadium III ist durch das Vorhandensein einer vollständigen Ruptur des SL-Bandes gekennzeichnet. Im Stadium III sind bei vollständiger Ruptur des SL-Bandes, im Gegensatz zu Stadium II, zusätzlich sekundäre Stabilisatoren rupturiert [10,12]. Dies führt in der Regel zu einer röntgenologisch nachweisbaren Vergrößerung des SL-Gelenkspalts > 3 mm und Veränderungen der karpalen Winkel durch die eintretende Rotationsinstabilität. Die Veränderungen sind dann bereits in der nicht belasteten Röntgenaufnahme zu erkennen und man spricht von einer statischen Instabilität [54]. Ist der palmare Anteil der sekundären Stabilisatoren betroffen, kommt es nur zu einer Rotationssubluxation des Skaphoids. Das Stadium III entspricht dem Bild der skapholunären Dissoziation (SLD) [7].

Stadium IV: DISI nicht fixiert und reponibel

Die DISI-Fehlstellung entsteht, wenn die Wirkung der dorsalen interkarpalen Ligamente auf das Lunatum durch deren Ruptur verloren geht [25]. Zu der Rotationssubluxation des Skaphoids kommt eine Extensionsbewegung des Lunatums hinzu, welche mit einer Vergrößerung des skapholunären Winkels auf $> 70^\circ$ einhergeht [28]. Zu Beginn ist die Fehlstellung oft noch reponibel, das heißt eine Reposition des Karpus ist möglich.

Stadium V: DISI fixiert und nicht reponibel

Mit der Zeit werden die Fehlstellungen des Skaphoids und des Lunatums durch sekundäre Veränderungen der unterstützenden Bandstrukturen irreversibel [55]. Gleiches gilt für die progrediente Migration des Kapitatum. Eine Reposition der karpalen Fehlstellung ist in diesem Stadium nicht mehr möglich.

Stadium VI: SLAC

Die daraus resultierende veränderte Kinematik führt zur abnormalen Gelenkmechanik und über die Zeit zu progressiven degenerativen Veränderungen, deren gefürchtetes Endstadium der karpale Kollaps (SLAC-Wrist) darstellt [7].

2.4.5 Therapie

Die Auswahl einer geeigneten Therapie bei Verletzungen des SL-Bandkomplexes gestaltet sich im klinischen Alltag weiterhin schwierig. Insbesondere bestehen Unklarheiten bezüglich der Einbeziehung des Verletzungsalters bei der Therapieentscheidung [32,56]. Dies liegt zum einen daran, dass die SL-Bandruptur im Rahmen der Diagnostik häufig übersehen wird. Oft lassen weder die akut auftretende Symptomatik, die klinische Untersuchung, noch die zur Verfügung stehenden nicht-invasiven diagnostischen Verfahren (Röntgen, CT, MRT) eine eindeutige initiale Diagnose zu [57]. Darüber hinaus zeigt sich die klinische Symptomatik häufig rasch regredient. Mit Eintreten einer, meist erst sekundär, karpalen Instabilität kommt es zur Beschwerdezunahme, wobei oft ein symptomarmes oder gar symptomfreies Intervall vorliegt [58]. Aus diesem Grund wird die ursächliche SL-Bandruptur häufig erst in einem fortgeschrittenen Stadium der karpalen Instabilität entdeckt. In diesem Stadium sind die verbliebenen Bandreste bereits soweit degeneriert, dass eine direkte Reparatur nicht mehr möglich ist. Darüber hinaus verringert sich bei statischer Instabilität mit zunehmender Dauer die Möglichkeit einer exakten Reposition des Karpus durch die ligamentäre Fixierung der Fehlstellung [16]. Zum anderen zeigt sich selbst bei frühzeitiger Diagnose, dass die Bandstümpfe häufig zu kurz oder auch von einem der beiden Knochen avulsioniert sind. Hieraus folgt, dass eine Bandrekonstruktion mittels direkter Bandnaht unmöglich ist und auch knöcherne Refixationen aufgrund der regelhaft schlechten Durchblutung der Ansatzareale oft keine suffizienten Ergebnisse erbringen [32].

In der Literatur sind bereits mehrere Verfahren zur SL-Bandrekonstruktion, für Fälle mit nicht mehr nahtfähigen Bandresten beschrieben [47,59–65]. Diese führten bisher jedoch nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Weiterhin besteht kein Konsens bei der Wahl von Behandlungszeitpunkten und der Entscheidung bezüglich der Behandlungstechnik [47]. Auch bei zunächst erfolgreichen Operationen und postoperativen Verläufen, kann mit der Zeit ein operierter skapholunärer Bandapparat, aufgrund der auftretenden Spannungen und Belastungen, wiederholt instabil werden [32]. Einigkeit herrscht mittlerweile in der Ansicht, dass eine ausbleibende Diagnose und suffiziente Behandlung bei Verletzungen mit drohender oder vorhandener Instabilität über einen unbestimmten Zeitraum zum karpalen Kollaps führen. Die Behandlung zielt auf eine möglichst anatomische Reposition des Karpus ab. Durch Reduktion von Schmerzen und Erhalt eines ausreichenden Bewegungsumfanges soll eine gute Gebrauchsfähigkeit und Funktionalität der betroffenen Hand unter Berücksichtigung der langfristigen, individuellen Bedürfnisse des Patienten gesichert werden [25]. Das therapeutische Vorgehen bei einer Verletzung des SL-Bandkomplexes ist sehr unterschiedlich

[26]. Die Therapieentscheidung sollte stadiengerecht auf Grundlage einer vorhergehenden Einteilung nach Garcia-Elias et al. erfolgen [31].

Stadium I

Im Stadium I handelt es sich um eine Teilruptur des SL-Bandes und entspricht dem okkulten oder auch dem präodynamischen Stadium. Wird die Verletzung in der akuten Phase diagnostiziert, wird eine perkutane K-Draht-Fixierung, idealerweise unter arthroskopischer Kontrolle, empfohlen [66]. Wenn die Verletzung nicht akut ist, dann besteht die Behandlung der Wahl aus einer vorübergehenden K-Draht-Fixierung der Handwurzel, die durch eine dorsale Kapsulodese ergänzt werden kann [67–73]. Es kommen auch arthroskopische Techniken wie Debridement, respektives Anfrischen der Bandstümpfe sowie das sogenannte Shrinking, unter Umständen in Kombination mit der vorübergehenden K-Draht-Fixierung, zum Einsatz.

Stadium II

Im Stadium der akuten kompletten SL-Bandruptur mit dynamischer Instabilität (Stadium II) liegen keine Anzeichen von Arthrose vor und die sekundären Stabilisatoren zeigen noch keine Veränderungen. Weist das rupturierte SL-Band zudem gutes Heilungspotenzial, ohne degenerative Veränderungen und ausreichender Vaskularisierung auf, kann eine direkte Naht des dorsalen SL-Bandes angestrebt werden [28,32]. Eine Verletzung des vorderen Anteils ist hingegen schwieriger zu behandeln, da der Zugang von wichtigen sekundären Bändern des Handgelenks verdeckt wird. In Studien zur Biomechanik des karpalen Bandapparates wird darauf hingewiesen, dass für das Erreichen einer normalen karpalen Kinematik, die Behandlung des hinteren Anteils des SL-Bandes ausreichend sei [74]. Die möglichst anatomische Reposition der proximalen Handwurzelreihe erfolgt geschlossen durch Zug an Daumen oder Fingern sowie durch Druck auf die dorsale respektive palmare Handwurzel. Zwei Kirschner-Drähte werden hierzu vorübergehend in das Lunatum und Skaphoid eingebracht und können als Hebel (sog. Joysticks) zu einer Reposition des Karpus führen [16]. Als nächstes folgt die primäre Naht des SL-Bandes. Ist das Band knöchern ausgerissen, sollte es mittels kleiner nichtresorbierbarer Ankersysteme oder mit PDS 3.0-Nahtmaterial über Bohrkanäle transossär refixiert werden [16,75–78]. Des Weiteren wird die Durchführung einer dorsalen Kapsulodese in Kombination mit einer primären SL-Bandnaht angeraten, jedoch nicht als alleiniges Therapieverfahren empfohlen [79,80]. Es wird zu einer postoperativen Immobilisation von sechs bis acht Wochen und zu einer Metallentfernung nach acht bis zehn Wochen geraten [16].

Stadium III

Patienten im Stadium III mit einer statischen Instabilität des Lunatums und/oder des Skaphoids, infolge einer Komplettruptur des SL-Bandes mit zusätzlicher Verletzung von sekundären Bandstabilisatoren (palmare oder dorsale extrinsische Bänder), bei denen sich nahtfähige Bandreste darstellen lassen, kann grundsätzlich bei nicht fixierter Fehlstellung und nach Ausschluss von degenerativen Veränderungen der Versuch einer SL-Bandnaht mit zusätzlicher Kapsulodese erfolgen [4,81,82]. Bei chronischer SL-Bandruptur ist aufgrund der Degeneration der Bandstümpfe dies allerdings meist nicht mehr möglich. In Fällen ohne nahtfähige Bandreste können verschiedene, im Weiteren beschriebene SL-Bandrekonstruktionen durchgeführt werden.

Stadium IV

Bei Patienten im Stadium IV, ohne nahtfähige Bandreste, die bereits eine karpale Fehlstellung aufweisen, welche noch reponibel ist, eignet sich unter anderem die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gegenständliche Tri-Ligament-Tenodese nach Garcia Elias (3-LT, „modif. Brunelli-Technik“) [47].

Stadium V

Handelt es sich um eine statische SLD ohne nahtfähige Bandstümpfe und mit einer nichtreponiblen karpalen Fehlstellung, kann eine Bandrekonstruktion nicht mehr durchgeführt werden. Als Therapieoption kommen in diesem Stadium Teilarthrodesen der Handwurzel in Frage, wobei der zugehörige operative Eingriff im klinischen Sprachgebrauch als "Rettungsoperation" bezeichnet wird. Der Vorteil gegenüber Totalarthrodesen wurde als erstes 1924 von Thornton erkannt [83]. Seitdem wurden zahlreiche weitere Varianten der intercarpalen Arthrodesen beschrieben [84–88]. Zum einen zählt hierzu die skapho-trapezio-trapezoidale Teilarthrodesen (STT-Arthrodesen), die in einer Bewegungseinschränkung von 20 bis 50% im Vergleich zur gesunden Seite resultiert [29]. Das Ziel ist es, den proximalen Kahnbeinpol in der Fossa scaphoidea zu zentrieren und einen radioskaphoidalen Winkel zwischen 40° und 60° zu erlangen. Das Lunatum wird hingegen in der DISI-Fehlstellung belassen, dies führt durch die erhöhte Druckbelastung in der Folge zu einer Arthrose im Mediokarpalgelenk. Durch den Eingriff wird jedoch der Eintritt des karpalen Kollapses verzögert [89–92]. Alternativ ist auch die skaphokapitale Arthrodesen möglich, jedoch kommt es hierbei zu einer Bewegungseinschränkung von über 50° [90,93,94]. Weitere Möglichkeiten bildet die SL-Arthrodesen, die sich jedoch als wenig zuverlässig herausgestellt hat sowie die SLC-Arthrodesen, die Skaphoid, Lunatum und Kapitatum miteinander verbindet [95,96]. Die

bisher vielversprechendste Methode stellt die Radio-Skaphoid-Lunatum-Arthrodes (RSL) in Kombination mit einer distalen Skaphoidektomie dar [8]. Diese eignet sich für Fälle, bei denen degenerative Veränderungen im radiokarpalen Gelenk bestehen, das Mediokarpalgelenk jedoch gut erhalten ist. Die Schonung des mediokarpalen Gelenks bewahrt die gekoppelte Handgelenkbewegung der Dartwurfbewegung [97].

Stadium VI SLAC

Bei beginnender Arthrose ist die allgemeine konservative Therapie der Arthrose bestehend aus funktioneller Behandlung (Ergo- und Physiotherapie), physikalischen Maßnahmen und medikamentöser Schmerztherapie sinnvoll. Kortikosteroid-Injektionen können meist vorübergehende Beschwerdelinderung bringen. Bei Patienten mit therapieresistenten Schmerzen, bei denen die nicht-operative Behandlung fehl- oder unzureichend anschlägt, kann eine chirurgische Behandlung angezeigt sein. Im Stadium I der SLAC-Wrist kann eine radiale Styloidektomie den Schmerz lindern. Diese kann mit offenen oder arthroskopischen Techniken durchgeführt werden. Der degenerative Prozess kann zwar nicht aufgehalten werden, jedoch kann die Notwendigkeit weiterer operativer Interventionen zeitlich hinaus gezögert werden [7]. Im Stadium II kann eine mediokarpale Teilarthrodes (engl.: Four corner fusion) durchgeführt werden. Bei diesem Verfahren wird einer Versteifung der Gelenke zwischen Lunatum, Kapitatum, Hamatum und Triquetrum unter Entfernung des Skaphoids (= CLHT-Arthrodes) angestrebt. Die mediokarpale Teilarthrodes kann eine Totalarthrodes (Vollversteifung) des Handgelenks langfristig nicht verhindern, jedoch meist deutlich hinauszögern. Es wird eine Funktionsverbesserung und Schmerzreduktion unter Erhalt einer akzeptablen Restbeweglichkeit erreicht [55]. Eine Alternative stellt die Resektion der proximalen Handwurzelreihe (engl.: Proximal Row Carpectomy = PRC) dar. Bei erhaltenem Kapitatumkopf und fehlender Arthrose in der Fovea lunata, werden die Knochen der proximalen Reihe unter Belassen des Kapselbandapparates entfernt [35]. Die Entfernung von Skaphoid, Lunatum und Triquetrum führt zu einer Gelenkverbindung zwischen dem Radius und der distalen Karpalreihe [98]. Im Vergleich zur PRC gilt die CLHT-Arthrodes als komplikationsreicher. Bei erfolgreichem Eingriff konnte klinisch jedoch eine signifikant stärkere Greifkraft erzielt werden [99,100]. Im Stadium SLAC III ist die einzige Alternative die Kombination aus CLHT-Arthrodes oder PCR mit Erneuerung der Oberfläche des Kapitatoms mit einem Pyrocarbon Implantat [28]. Die Totalarthrodes des Handgelenks ist eine Option sowohl im Stadium SLAC III als auch IV. Zunehmend kommt die Endoprothese des Handgelenks zum Einsatz [106]. Sie ist eine bewegungserhaltende Option, die im Allgemeinen

für Patienten im fortgeschrittenen Stadium mit geringerer Aktivitätsanforderung vorgesehen ist. Patienten mit höherem Aktivitätsanspruch und solche mit schlechtem Knochenbestand sollten von der Implantation einer Totalendoprothese absehen. Grund dafür sind die momentan noch hohen Lockerungsraten und die Gestaltung der distalen Komponenten der aktuell hergestellten Totalendoprothesen. Anzumerken ist jedoch, dass gerade dieses eher junge Klientel sich vermehrt eine endoprothetische Versorgung wünscht [101]. Die therapeutische Denervation des Handgelenks nach Wilhelm (1966) kann palliativ oder begleitend in allen Stadien durchgeführt werden [102].

2.5 Historischer Überblick der Bandrekonstruktion mittels

Sehnenplastik

Die Verwendung von Teilen einer Sehne zur Rekonstruktion des SL-Bandes hat sich seit ihrer Einführung 1975 durch Dobyns et al. beträchtlich weiterentwickelt. Die ursprüngliche Technik bestand darin, einen Sehnenstreifen durch einen von anterior nach posterior verlaufenden Tunnel im proximalen Pol des Skaphoids und des Lunatums zu führen [103]. Die Stabilität wurde erreicht, indem das Sehnentransplantat eng um das Gelenk geschlungen wurde. Ein Problem der Methode stellte die Schaffung von Bohrlöchern in schlecht vaskularisierten Bereichen des Knochens dar, die oft die Blutversorgung des proximalen Pols störten und zu Frakturen und/oder Gelenkdegenerationen führten [56].

Almquist et al. berichteten 1991 von besseren Ergebnissen beim Einsatz der so genannten „Four-bone“-Bandrekonstruktion. Es wurden Löcher in das Kapitatum, Skaphoid und Lunatum gebohrt und ein distal liegender Streifen der kurzen Handgelenksstreckmuskelsehne (Extensor carpi radialis brevis) wurde durch die Löcher geführt, um die horizontale Verstärkung des dorsalen SL-Bandes zu reproduzieren. Die Problematik dieser Methode bestand darin, eine vertikale Verstärkung zwischen dem Kapitatum und dem Lunatum von palmar zu schaffen, die einer Extension im mediokarpalen Gelenk entgegenwirkt [6]. Langzeitergebnisse wurden bisher nicht veröffentlicht. Eine weitere Technik wurde 1992 von Linscheid und Dobyns erarbeitet. Ein Streifen der Sehne des M. Extensor Carpi radialis longus wurde distal angebracht und durch ein Bohrloch von der dorsalen Seite des distalen Skaphoids zur palmaren Seite gezogen. Hierbei bildete sich eine "Leine", die der Flexionsneigung des Skaphoids entgegenwirkte. Auf der palmaren Seite angekommen wurde die Sehne intraartikulär um die Taille des Skaphoids geführt, mit dem Ziel auf die dorsale Seite zu gelangen. Zum Schließen der SL-Lücke, wurde der Sehnenstreifen unter die dorsalen Fasern des lunotriquetralen Bandes

geführt, um sich selbst geschlungen und straff vernäht, sodass das Lunatum in Position gehalten werden konnte [59]. 1995 schlugen Brunelli und Brunelli die Verwendung eines Streifens der FCR-Sehne vor, um sowohl dem proximalen als auch dem distalen Anteil der Rotationssubluxation des Skaphoids entgegenzuwirken. Ein Streifen der FCR-Sehne, der distal-palmar befestigt blieb, wurde durch eine Querbohrung durch das distale Skaphoid geführt, um dorsal aus dem Skaphoid austreten zu können. Nach der ursprünglichen Beschreibung wurde die Sehne an der dorsalulnaren Ecke des distalen Radius durch transosseale Nähte fixiert [60]. Die Methode wurde später 1998 von Van Den Abbeele et al. modifiziert, die vorschlugen, das Radiokarpalgelenk nicht zu kreuzen, sondern die Sehne an der dorsalen Seite des Lunatums oder am dorsalen radiotriquetralen Band (RTq) zu verankern [62]. Die Unterschiede zwischen diesen neueren Methoden der Bandrekonstruktion und den in den 70er Jahren beschriebenen Methoden sind erheblich. Bei den zuletzt beschriebenen Techniken wurde nicht nur der proximale Anteil des skapholunären Gelenk stabilisiert, sondern auch die distal-palmare Komponente der Instabilität des Skaphoids konnte kontrolliert werden [60,62]. Außerdem befanden sich die Bohrlöcher nicht in der Nähe des schlecht vaskularisierten SL-Gelenks, sondern in einem weiter zentral gelegenen Bereich des Kahnbeins. Durch die bessere Vaskularisation wurde eine ausreichende Eingliederung der Sehne in den heilenden Knochen ermöglicht [47]. Garcia Elias et al. haben 2006 die sogenannte Tri-Ligament-Tenodese (3LT-Rekonstruktion) für nicht rekonstruierbare komplette SL-Bandrupturen mit reponierbarer karpaler Achsenfehlstellungen veröffentlicht. Diese Methode wurde als Modifikation der von Brunelli beschriebenen Technik vorgestellt, wenn auch der biomechanische Hintergrund nicht mit der neuen Methode vereinbar ist. Nichtsdestotrotz wird sie auch „modifizierte Brunelli-Bandplastik“ genannt [47,60,62,104]. Die 3LT-Rekonstruktion gehört mittlerweile zu den gebräuchlichsten Techniken. Klinische Studien zur 3LT-Rekonstruktion und ihren Modifizierungen zeigten bislang sowohl für die chronisch dynamische, als auch für die chronisch statische Instabilität vielversprechende Ergebnisse. Dabei konnte eine signifikante Reduktion von Schmerz und SL-Bandinstabilität erreicht werden, welche allerdings mit einer Verminderung von Bewegungsausmaß und Greifkraft einhergeht [28].

2.6 Fragestellung

Das vorliegende Patientenkollektiv wurde basierend auf der in 3.3 beschriebenen Bandrekonstruktion mittels Sehnenplastik versorgt. Zusätzlich wurde im Unfallkrankenhaus Berlin (ukb) die ursprünglichen 3LT- Methode nach Garcia-Elias um eine von Mathoulin et al. beschriebene arthroskopische Rekonstruktion des dorsalen kapsulokapholunären Septums (DCSS) erweitert [105].

Die Fragestellung dieser Arbeit lautet, wie sich das Outcome nach stattgehabter 3LT-Rekonstruktion modifiziert nach Garcia Elias im Langzeitergebnis und in Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt in Bezug auf den Unfallzeitpunkt darstellt. Insbesondere soll untersucht werden, ob die im ukb durchgeführte Modifikation der ursprünglichen 3LT-Technik nach Garcia-Elias überlegen ist.

Dabei sollen die objektiv klinische Funktionalität des operierten Handgelenks im Vergleich zur gesunden Seite, die subjektive postoperativen Zufriedenheit und die radiologischen Ergebnisse der Nachuntersuchung berücksichtigt werden.

Die primäre Hypothese der vorliegenden Arbeit besagt, dass Patienten mit 3LT-Rekonstruktion des SL-Bandes eine Funktionseinbuße bezüglich des Bewegungsumfanges des betroffenen Handgelenks im Vergleich zur unverletzten Gegenseite behalten. Das Ausmaß soll durch die mindestens ein Jahr nach Operation stattfindende Nachuntersuchung ermittelt werden. Sekundäre Parameter, die im Rahmen der Nachuntersuchung erhoben werden, sind die maximale Kraft bei verschiedenen Griffarten (Spitz-, Schlüssel- und Grobgriff), das Schmerzlevel (NRS – numerische Rating-Skala 0 - 10) sowie radiologische Daten.

3 Material und Methoden

3.1 Patienten

3.1.1 Patientenidentifikation und Einschlusskriterien

Die vorliegende Studie wurde als retrospektive Datenanalyse von 71 Patienten mit SL-Bandrupturen geplant und in der Abteilung für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie unter der Leitung von Herrn Professor Dr. A. Eisenschenk des Unfallkrankenhauses Berlin, durchgeführt. Die untersuchten Patienten stammten aus Berlin und Brandenburg und wurden im Zeitraum von Januar 2014 bis Januar 2017 akquiriert. Alle medizinischen Daten wurden unter strenger Berücksichtigung des Datenschutzes pseudonymisiert und das demografische Profil auf Alter und Geschlecht beschränkt. Die Zustimmung zur Durchführung dieser Analyse erfolgte nach Antrag eines medizinisch-wissenschaftlichen Vorhabens bei der Ethikkommission in der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald unter dem Titel: „Objektiv funktionelles, subjektives und radiologisches Outcome in Abhängigkeit vom Verletzungsalter operativ versorgter Verletzungen des skapholunären Bandes“ und dem Aktenzeichen BB 118/18. Vor Operation der SL-Bandruptur wurde in jedem Fall eine Arthroskopie durchgeführt, um eine komplette SL-Bandruptur bei dynamischer Instabilität zu bestätigen und den Gelenkknorpel zu beurteilen. Die SL-Bandrekonstruktion wurde in derselben Sitzung durchgeführt. Patienten mit einem kompletten Riss des SL-Bandes (Geissler Stadium III-IV) erhielten eine Tri-Ligament-Tenodese. Patienten mit einer Teilruptur des SL-Bandes (Geissler Stadium I-II) wurden mit alternativen stadienabhängigen Behandlungsmethoden versorgt (SL-Naht, SL-Shrinking, knöcherne Refixation, Kapsulodese, temporäre Arthrodeese, Immobilisation in HG-Extension, dorsale Anfrischung mit temporärer Arthrodeese) [30].

Die 71 Patienten wurden anhand des Dokumentationssystems der Klinik identifiziert und im März 2018 schriftlich zu einer Nachuntersuchung im Rahmen der Studie „Objektiv funktionelles, subjektives und radiologisches Outcome in Abhängigkeit vom Verletzungsalter operativ versorgter Verletzungen des skapholunären Bandes“ eingeladen. Im Rahmen des Einladungsschreibens wurden die Patienten ausführlich über Ablauf und Zweck der Nachuntersuchung informiert. Letztendlich wurde mit 58 Patienten ein telefonischer Termin zur Nachuntersuchung vereinbart, was einer Rücklaufquote von 81,7% entsprach. Es wurden nur Patienten in die Studie miteingeschlossen, deren Verletzung zum Zeitpunkt der Untersuchung mindestens 1 Jahr zurücklag. Dadurch wurde sichergestellt, dass es sich bei den

Ergebnissen der Untersuchung um einen weitestgehenden Endzustand handelt und die Ergebnisse somit unabhängig vom Operationszeitpunkt gewertet werden konnten. Das Augenmerk der Studie lag auf SL-Bandrupturen, die mittels 3LT operiert wurden. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden außerdem Patienten mituntersucht, die im erfassten Zeitraum SL-Bandrupturen erlitten, die mit alternativen Methoden stadienabhängig versorgt wurden.

3.1.2 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien waren mangelnde Komplianz, unzureichende Möglichkeit einer verbalen oder nonverbalen Kommunikation mit den Patienten und fehlende Einverständniserklärung. Außerdem wurden Patienten ausgeschlossen, bei denen die radiologische Bildgebung nicht vollständig war (Fehlen einer präoperativen oder postoperativen Röntgenaufnahme) sowie Patienten, die sich zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme unmittelbar vor der Entfernung der Kirschner-Drähte befanden. Des Weiteren wurden Patienten nicht in die Studie eingeschlossen, wenn zum Zeitpunkt der Erfassung der Zeitabstand zur Operation weniger als ein Jahr betrug.

3.2 Präoperative Diagnostik

3.2.1 Algorithmus zur Behandlung von skapholunären Dissoziationen

Um für jeden Patienten mit SL-Bandruptur eine geeignete Therapie zu finden, orientierte sich die Abteilung für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie des Unfallkrankenhauses Berlin an dem von Garcia-Elias et al. 2006 entwickelten Algorithmus zur Behandlung von skapholunären Dissoziationen [47]. Garcia-Elias et al. entwarfen einen Fragebogen um fünf prognostische Faktoren zu evaluieren. Unter Berücksichtigung der aus dem Fragebogen ermittelten prognostischen Parameter wurde die SL-Bandruptur in eines von sechs Stadien eingeteilt. Anhand dieser Stadieneinteilung konnte anschließend eine stadiengerechte Behandlung der SL-Bandruptur erfolgen [47]. Hierfür wurde präoperativ unter anderem eine Arthroskopie durchgeführt, um Antworten auf die in folgender Abbildung aufgeführten Fragen zu erhalten (siehe Abbildung 6).

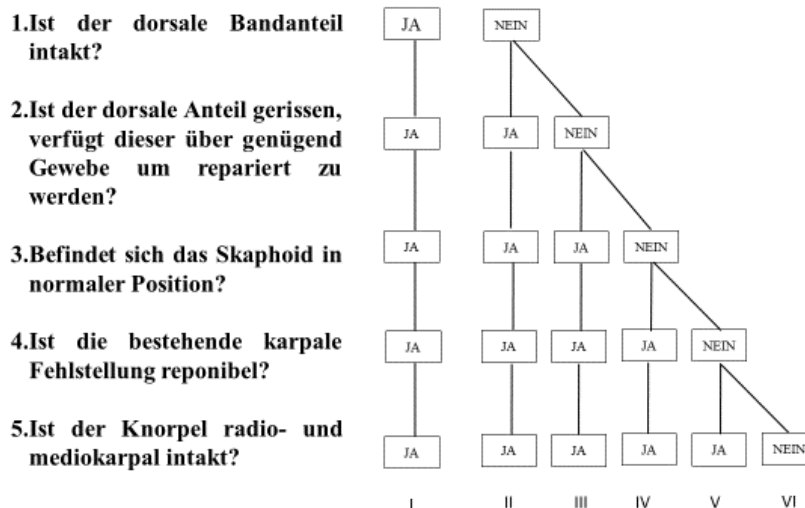


Abbildung 6: Stadieneinteilung der SLD nach dem Fragenalgorithmus von Garcia-Elias et al. [47].

Die Indikation für eine Tri-Ligament-Tenodese wurde gestellt, wenn der Patient den Stadien III und IV zugeordnet wurde. Dies entspricht einer kompletten Ruptur des dorsalen Bandanteiles, mit nicht nahtfähigen Bandstümpfen. Hierbei muss eine bestehende karpale Fehlstellung noch reponibel sein und das Knorpelgewebe der radio- und mediokarpalen Oberflächen muss intakt bzw. darf nur gering (bis Grad 2 nach Outerbridge) geschädigt sein [106]. Darüber hinaus wurden auch das Alter, der Gesundheitszustand und die beruflichen Anforderungen des Patienten in die Therapieentscheidung mit einbezogen.

3.3 Operationstechnik

3.3.1 Prinzip der 3LT-Rekonstruktion nach Garcia-Elias

Durch die SL-Bandrekonstruktion nach Garcia-Elias, bei der ein Streifen der FCR-Sehne verwendet wurde, sollte die palmar-distale Verbindung des Skaphoids verstärkt, das dorsale SL-Band rekonstruiert und die ulnare Translation des Lunatums verringert werden [47]. Da diese Sehnenrekonstruktion die Wirkung von drei Bändern (skaphotrapeziotrapezoidale Band, dorsale SL-Band, dorsale radiotriquetrale Band) verstärkt oder repliziert, wurde sie als Tri-Ligament-Tenodese oder 3LT-Verfahren bezeichnet.

Die Methode wurde als Modifikation einer Technik, die bereits auf drei zuvor publizierten Tenodeseverfahren basiert (von Brunelli und Brunelli et al. [60], Lindscheid und Dobyns et al. [59] und Van den Abbeele et al. [62]), beschrieben [47]. Im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Techniken wurde nicht nur der proximale, sondern auch der distal-palmare Anteil der Instabilität des Skaphoids korrigiert und aufgerichtet sowie das

skaphotrapeziotrapezoidale Band (STT) unterstützt. Weiterhin wurde der biomechanische stabilste, dorsale Anteil des SL-Bandes rekonstruiert und die Kraftübertragung von Lunatum auf Ulna reduziert, indem das dorsale radiotriquetrale Band (RTq) unter Spannung gebracht wurde. In der Regel wurde eine temporäre Transfixation des Karpus mit Kirschner-Drähten zwischen Skaphoid und Lunatum oft auch zusätzlich zwischen Skaphoid und Kapitatum empfohlen [27].

3.3.2 Verwendete operative Technik

Der Eingriff erfolgte im Anschluss an eine Arthroskopie des Handgelenks. Bereits vor der Arthroskopie wurde der Arm mit einer elastischen Binde ausgewickelt und eine Druckmanschette am Oberarm mit 250 mmHg angelegt, um eine Blutleere zu gewährleisten. Der dorsale Zugang zum Handgelenk erfolgte über einen 8 cm langen S-förmig geschwungenen Hautschnitt, der über dem Tuberculum Listeri lag. Zunächst wurde das Retinaculum extensorum dargestellt, wobei der R. superficialis des N. radialis sowie der R. dorsalis des N. ulnaris geschont wurden. Das 3. Strecksehnenfach wurde längs eröffnet und die Sehne des M. extensor pollicis longus nach radial herausgezogen. Im Anschluss wurden die vertikalen Septen zwischen 3. und 4. sowie 4. und 5. Strecksehnenfach durchtrennt. Das Retinaculum wurde anschließend proximal auf Höhe des Tuberculum listeri sowie distal am Übergang von Handwurzel zur Mittelhand quer inzidiert. Der entstandene Lappen wurde angehoben und nach ulnar umgeschlagen. Die Strecksehnen des 4. und 5. Strecksehnenfaches wurden in diesen Lappen eingeschlagen und aus dem Situs gehalten. Der am Boden des 4. Strecksehnenfaches liegende N. interosseus posterior wurde im Sinne einer partiellen dorsalen Denervation des Handgelenks routinemäßig durchtrennt [32]. Anschließend erfolgte eine dorsale Kapsulotomie mittels dem von Berger und Bishop beschriebenen Kapsellappen, der sich am dorsalen radiotriquetralen Band (RTq) und dem schrägen interkarpalen Band (Lig. intercarpale dorsale) orientiert [107,108].

Es wurden zunächst folgende drei Orientierungspunkte markiert:

- (1) Die Mitte zwischen dem Tuberculum Listeri und der Incisura ulnaris, erkennbar am Septum zwischen den 4. und 5. Strecksehnenfach,
- (2) Das dorsale Tuberculum am Triquetrum
- (3) Der Sulcus zwischen Skaphoid und Trapezoideum.

Die Inzision begann am Processus styloideus radii und verlief entlang des radiokarpalen Gelenkspalts bis zur Mitte von Tuberculum Listeri und der Incisura ulnaris. Den Fasern des Lig. radiotriquetrum (RTq) folgend, endete die Inzision am dorsalen Tuberculum des Triquetrum. Das RTq-Band entspricht dem proximalen Schenkel des dorsalen V-Bandes, welches hierbei gespalten wurde. Die Inzision wurde nach radial auf dem Sulcus zwischen Skaphoid und Trapezoideum fortgeführt. Dies führte dazu, dass der distale Schenkel des dorsalen V-Bandes, das Lig. intercarpale dorsale, gespalten wurde. Der entstandene radial basierte Kapsellappen wurde angehoben und durch eine Beugung des Handgelenks wurde die proximale Handwurzelreihe sichtbar. Es wurde darauf geachtet, dass ein ausreichender Anteil des dorsalen radiotriquetralen Bandes am Triquetrum verblieb, um eine ausreichende Spannung zu gewährleisten (siehe Abbildung 7) [32].

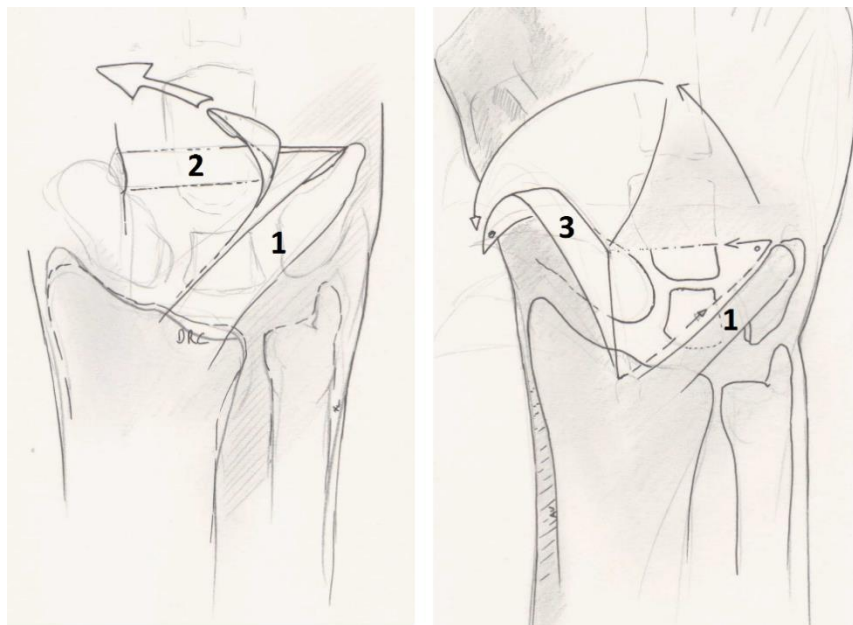


Abbildung 7: Zeichnung der Eröffnung der Kapsel durch Hebung eines dreieckigen Band-Kapsel-Lappens mit Berücksichtigung der dorsalen Bänder. (1) Lig. radiotriquetrum (RTq), (2) Lig. intercarpale dorsale (DIC), (3) DIC wird vom triquetralen Ansatz gelöst und ist im Lappen eingeschlossen [109].

Anschließend wurde die Behandlung mittels der Tri-Ligament-Tenodese durchgeführt. Um die Flexor-carpi-radialis-Sehne freizulegen, wurde ein radialer palmarer Zugang genutzt. Hierbei erfolgte der Hautschnitt längsgerichtet über der Flexor-carpi-radialis-Sehne, wobei dieser distal in einem kleinen Bogen nach radial verlief („Hockeyschläger“-Schnittführung) [109]. Die unter dem subkutanen Gewebe befindliche Sehnenscheide der FCR-Sehne wurde längs gespalten und die dadurch freigelegte Sehne anschließend in Faserrichtung aufgetrennt [2]. Hierbei entstand ein ca. 3 bis 4 mm breiter radialer Streifen, der etwa einem Drittel bis zur Hälfte der Sehnenbreite entsprach. Der zu entnehmende Sehnenstreifen blieb distal gestielt und konnte

mit Hilfe eines speziellen Sehnenstrippers (nach Reill) entnommen werden. Dieser Sehnenstripper besitzt eine Öffnungsmöglichkeit des Schneidekopfs, sodass dieser um den abgetrennten Teil der Sehne geführt und nach proximal vorgeschoben werden kann. Hierdurch wird der Sehnenanteil im muskulären Übergang abgetrennt, ohne dass der distale Ansatz der Sehne alteriert wird. Es wurde darauf geachtet, dass der präparierte Sehnenstreifen mind. 8 cm lang war [2]. Als nächstes erfolgte die Bohrung eines 2,7 bis 3,2 mm großen Bohrlochs des zentralen Skaphoids von dorsal nach palmar. Die Verlaufsrichtung des Bohrkanals zielte vom Ursprung des dorsalen Anteils des skapholunären Bandes am Skaphoid in Richtung Tuberculum des Kahnbeins auf der Beugeseite. Dieser Bohrkanal sollte später dazu dienen, den Sehnenzügel von palmar nach dorsal zu führen. Der Bohrvorgang erfolgte zunächst mit einem Kirschner-Draht. Erst nach radiologischer Lagekontrolle erfolgte die Überbohrung mit einem kanülierten Bohrer. Die Bohrvorgänge wurden mit niedriger Drehzahl und unter reichlicher Spülung zur Minimierung von Hitzenekrosen durchgeführt. Als nächstes wurde das Sehnen transplantat durch den Bohrkanal von palmar nach dorsal gefädelt. Das Hindurchführen erfolgt unter Verwendung eines „Tendon passer“ (tendon pass shuttle, Fa. Arthrex). Bei diesem handelt es sich um einen semi-rigiden Kunststoffstab mit abgeschrägtem Kopf, in den ein Mädchenfänger-Geflecht aus Kunststoff eingelassen ist. Anschließend wurde das Lunatum präpariert [109]. Dort wo später die Bandplastik entlang verlaufen sollte, wurde eine ca. 3 mm breite Rinne im Lunatum geschaffen und der spongiöse Knochen freigelegt. Die spongiöse Substanz gewährleistet das Einwachsen des Sehnen transplantats in das Lunatum [47]. Um Hitzenekrosen zu vermeiden, wurde hierbei auf die Verwendung motorisierter Werkzeuge verzichtet und ein Rongeur verwendet. In die Mitte der Rinne wurde ein Knochenanker (2,2 mm cork screw, fibre wire Faden 3/0, Fa. Arthrex) eingebracht, welcher später zur Fixation des Sehnenstreifens am Lunatum dienen sollte. Im nächsten Schritt erhielt das Lig. radiotriquetrum dorsale eine Stichinzision in Ansatznähe des Triquetrums, damit der Sehnenstreifen der FCR-Sehne durchgezogen werden konnte. Die FCR-Sehne wurde am RTq-Band umgeschlagen. Der zurückführende Schenkel der FCR-Sehne wurde mit dem Knochenanker am Lunatum und mit sich selbst mit nicht resorbierbaren Nähten bzw. PDS 4/0 vernäht (siehe Abbildung 8) [47,110]. Die Spannung wurde dabei so gewählt, dass das Handgelenk in Neutralstellung einen skapholunären Winkel von 60° (intraoperative Bildwandler Kontrolle) bildete [2]. Durch die beschriebene Transplantatbefestigung ist eine Rekonstruktion des SL-Bandes entstanden. Bevor es jedoch zu der Durchführung von Nähten kommen konnte, erfolgte zunächst die Stabilisation der Reposition der karpalen Knochen. In physiologischer Stellung erfolgte die Transfixierung mit 1,2 mm-Kirschner-Drähten zwischen dem distalen Skaphoid und dem

Kapitulum sowie dem Skaphoid und dem Lunatum. Die physiologische Stellung der Karpalia wurde intraoperativ mit dem Bildwandler geprüft [2]. Nach Beendigung der 3LT-Rekonstruktion, wurde der Kapsellappen wieder in seine ursprüngliche Position gebracht. Nach der ursprünglichen Garcia-Elias Technik wären an dieser Stelle die Stabilisationsmaßnahmen weitgehend abgeschlossen gewesen und ein einfacher Kapselverschluss durch resorbierbare Nähte erfolgt.

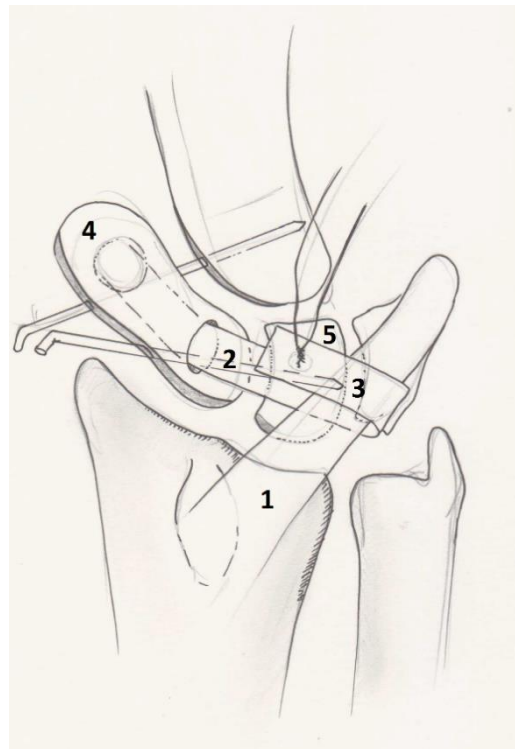


Abbildung 8: Zeichnerische Darstellung der Transplantatbefestigung nach der 3LT-Technik von Garcia-Elias. (1) Lig. radiotriquetrum (RTq), (2) hinführender Schenkel des FCR-Transplantates, (3) zurückführender Schenkel des FCR-Transplantates, (4) Skaphoid, (5) Lunatum [109]

In Anlehnung an eine von Mathoulin et al. beschriebene arthroskopische Rekonstruktion des dorsalen capsuloscapholunären Septums (DCSS), wurde bei vorliegendem Patientenkollektiv an dieser Stelle der Operation eine Modifikation der ursprünglichen 3LT- Methode nach Garcia-Elias vorgenommen [105].

Das dorsale capsuloscapholunäre Septum (DCSS) stellt eine Verbindungsstruktur zwischen der dorsalen Kapsel, dem SL-Band und dem intercarpalen Band (DIC) dar. Mathoulin et al. gehen davon aus, dass das DCSS eine wichtige Rolle in der Stabilisierung des skapholunären Gelenks spielt und einen sekundären Stabilisator des Handgelenks darstellt, der von therapeutischer sowie prognostischer Bedeutung ist [111]. Anstatt des einfachen Kapselverschlusses, wurden zusätzlich die mit Nadeln armierten Fäden des Fadenankers durch den Kapsellappen gestochen und deren nicht resorbierbare Fäden (engl.: fibre wire) verknotet. Hierdurch wurde der Kapsel-

Band-Lappen mit den beiden Anteilen des FCR-Transplantats verknüpft und eine dreischichtige Stabilisation entstand (siehe Abbildung 9). Es resultiert eine Rekonstruktion des DCSS im Bereich des durch die Bandplastik rekonstruierten zentralen dorsalen SL-Bandes, der wesentlichen Belastungszone. Zum Schluss wurden die gespaltenen Fasern des RTq-Bandes und der dorsalen Intercarpalbänder wieder vernäht und so das Retinaculum extensorum rekonstruiert. Nach Öffnen der Druckmanschette und Blutstillung wurde die Haut durch eine Naht geschlossen.

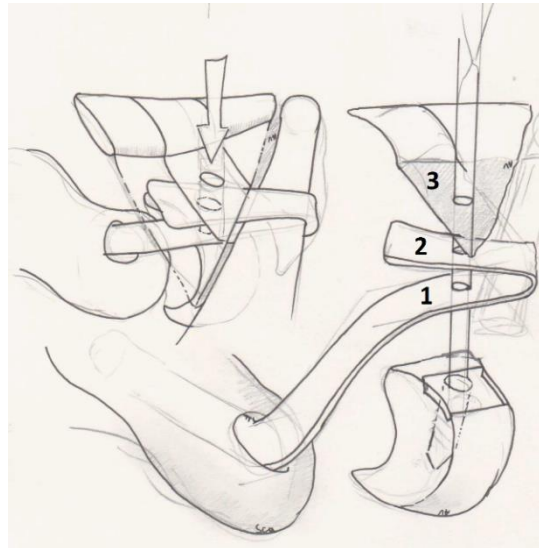


Abbildung 9: Zeichnerische Darstellung der DCSS Rekonstruktion im Bereich des dorsalen SL-Bandes. Durch die Dreischichtung der gekennzeichneten Anteile wird Stabilität im dorsalen Anteil des SL-Bandes erzeugt. 1) hinführender Schenkel des FCR-Transplantates, 2) zurückführender Schenkel des FCR-Transplantates, 3) dorsale Kapsel [109]

3.3.3 Vorgehen nach der Operation

Postoperativ erfolgte eine Immobilisation in einem Gips bzw. zirkulären Cast-Verband ohne Einschluss des Daumengrundgelenks. Dieser wurde nach Abschwellung der Weichteile durch eine EXOS-Orthese ersetzt, die konsequent für acht Wochen getragen werden sollte.

Nach Abschluss der zweiten postoperativen Woche wurde eine belastungsfreie Beübung aus der Orthese heraus eingeleitet, die ausschließlich eine Bewegung in der Extension-Flexionsachse bis maximal 30-0-30° erlaubte. Die Entfernung der Kirschner-Drähte erfolgt nach sechs Wochen. Der Termin diesbezüglich wurde bereits zum Zeitpunkt der Entlassung festgelegt. Eine intensive Handtherapie mit langsamer Belastungssteigerung wurde nach Abschluss der achten postoperativen Woche begonnen. Es wurde zunächst mit einer lastfreien Mobilisation begonnen, nach der 12. postoperativen Woche erfolgte eine Belastung mit 3-5kg und ab der 16. postoperativen Woche eine Belastung mit 5-10kg. Ein weiterer Lastaufbau erfolgte im Rahmen einer Reha oder einer erweiterten ambulanten Physiotherapie (ohne bzw. eingeschränkte medizinische Trainingstherapie). Ab der 20. postoperativen Woche wurde eine

Beschränkung der Belastung aufgehoben und nach 6 Monaten durfte Sport (Kontaktsport o.ä.) wieder aufgenommen werden.

3.4 Messparameter

Nach Akzeptanz der informierten Einwilligung wurden neben einer ausführlichen Anamnese unter besonderer Berücksichtigung des Unfallhergangs, der postoperativen Therapie und dem Zeitpunkt der Wiederaufnahme der Arbeitstätigkeit, nachfolgend beschriebene Untersuchungen durchgeführt und Fragebögen durch den Patienten eigenständig bearbeitet.

3.4.1 Messbögen

Um die Ergebnisse der Operation beurteilen zu können, wurde die Funktionalität des Handgelenks in der Nachuntersuchung erfasst.

Messbogen für obere Gliedmaßen

Die Messung des Bewegungsumfanges (engl. range of motion = ROM) erfolgte anhand des standardisierten Messbogens für die obere Extremität F4222 nach der Neutral-Null-Methode [112]. Um eine Vergleichbarkeit der operierten Hand zu ermöglichen, wurde das Bewegungsausmaß der kontralateralen Hand des Patienten ermittelt.

Zur Messung der Bewegungsumfänge wurde ein industriefertiges genormtes Goniometer (Medizintechnik KaWe, Asperg, Deutschland) verwendet. Die Messungen erfolgten im Rahmen der Nachuntersuchung. Anhand des Messbogens wurde der ROM sowohl für das erkrankte als auch das gesunde Handgelenk bei jedem Patienten aus der Summe von Extension und Flexion, Ulna-/Radialduktion sowie der Pro-/Supination errechnet. Zusätzlich wurde das Bewegungsausmaß der erkrankten Hand im Vergleich zur gesunden Hand ermittelt.

Die Messung der groben Handkraft erfolgte mit Hilfe eines Hand-Dynamometers (Biometrics Ltd., Gwent, U.K.). Die Patienten wurden angewiesen, dreimal hintereinander mit maximaler Kraft einen Faustschluss durchzuführen. Dabei wurde jeweils der Mittelwert der erreichten Kraft in Kilogramm force (kg force) für die Messung angegeben. Außerdem wurden zusätzlich der Spitz- und Schlüsselgriff mit einem Pinchmeter (Biometrics Ltd., Gwent, U.K.) bestimmt. Hierbei wurde der Patient gebeten, das Pinchmeter zwischen Daumen und Zeigefingerkuppe bzw. Daumen und seitlicher Fläche des Zeigefingers zu nehmen und so kräftig wie möglich zu drücken. Dieser Griff wurde im Wechsel von gesunder und operierter Hand dreimal hintereinander durchgeführt. Danach wurde der Mittelwert für die operierte und für die gesunde Hand errechnet und in kg force angegeben. Aus den erhobenen Mittelwerten der ursprünglich

verletzten Hand und denen der gesunden Hand wurde dann letztendlich die Kraftminderung in Prozent (%) ermittelt. Präoperative Werte zum Bewegungsausmaß und zur groben Kraft lagen nur in wenigen Fällen und noch viel seltener für beide Seiten vor, weshalb auf ihre Erfassung verzichtet wurde.

Mayo-Wrist-Score (MWS)

Der Mayo-Wrist-Score (MWS) ist eine Modifikation des Green- und O'Brien-Scores [113,114]. Er ermöglicht die Beurteilung und Dokumentation der Funktion und Beschwerden des Handgelenks, indem er objektive und subjektive Parameter miteinschließt. Es gibt insgesamt 100 Punkte, die sich aus der Bewertung des Schmerzes (25 Punkte), dem Grad der Zufriedenheit (25 Punkte), dem Bewegungsumfang der aktiven Flexion/Extension als Prozentsatz der gegenüberliegenden Seite (25 Punkte) und dem Ausmaß der Griffstärke als Prozentsatz der gegenüberliegenden Seite (25 Punkte) zusammensetzen. Schmerzen werden vom Gutachter als keine vorhanden (25 Punkte), milde (20 Punkte), mittelschwere (10 Punkte) oder schwere (0 Punkte) bewertet, basierend auf der subjektiven Beschreibung des Patienten. Die Gesamtpunktzahl liegt zwischen 0 und 100 Punkten, wobei höhere Punktzahlen bessere Funktionalität und Beschwerdefreiheit widerspiegeln. Eine „sehr gute“ Funktion entspricht einer Punktzahl von 90-100 Punkten, „gut“ einer Punktzahl von 80-89, „befriedigend“ einer Punktzahl von 65-79, und „schlecht“ ergibt sich aus einer Punktzahl von weniger als 65 Punkten [115].

3.4.2 Fragebögen

Zur Evaluation der operativen Eingriffe wurden, neben den ermittelten objektiven Parametern, Patientenfragebögen angewendet.

Diese beinhalteten Fragen zur Erfassung der Therapiezufriedenheit, der subjektiven Beschwerdebesserung sowie der Fähigkeit zur Ausführung von Alltagsaktivitäten (vor und nach dem operativen Eingriff).

DASH- Score

Der DASH-Score (engl.: Disabilities of the arm, shoulder and hand) ist ein häufig verwendetes Messinstrument zur Quantifizierung der Funktion der oberen Extremität als Einheit. Dabei bezieht er sich gleichermaßen auf Verletzungen im proximalen, wie auch im distalen Bereich der oberen Extremität und lässt sich für verschiedene Erkrankungen der oberen Extremität einsetzen [116,117]. Er wurde 1996 von der American Academy of Orthopedic Surgeons

(AAOS) in Zusammenarbeit mit dem Council of Musculoskeletal Specialty Societies (COMSS) und dem Institute Work and Health (IWH) in Toronto eingeführt [118].

Der DASH-Score wird mit Hilfe eines Fragebogens ermittelt, welcher vom Patienten selbst ausgefüllt werden kann. Zur breiteren Anwendung wurde der ursprüngliche in Englisch verfasste Fragebogen in viele Sprachen übersetzt.

Seit 1999 gibt es auch eine deutsche Übersetzung des DASH-Scores, welche im deutschsprachigen Raum im klinischen Alltag und in der Forschung verwendet wird. Diese Übersetzungen wurden bezüglich des allgemeinen Textverständnisses und Vergleichbarkeit in anderen Ländern und Kulturkreisen mehrfach kontrolliert und validiert [119]. Mittlerweile wird der DASH-Score international routinemäßig eingesetzt und gilt in zahlreichen Studien als etablierter und anerkannter Parameter für das klinische Ergebnis von Arm-, Schulter- und Handverletzungen [120,121]. Damit wurde ein Instrument entwickelt, welches die Beeinträchtigung der Funktion der oberen Extremität sowie der körperlichen Beschwerden nach Erkrankung oder Verletzungsfolge subjektiv misst [118]. Durch die Fragen und Einbeziehung subjektiver Erfahrungen, können die Lebensqualität beeinflussende Faktoren erfasst werden und somit Grenzen von Aktivität und Partizipation eingeschätzt werden [122]. In der vorliegenden Studie wurde die deutsche Fassung des DASH-Scores in der von Germann et al. 1999 verfassten Version 2.0 eingesetzt [119]. Diese setzt sich aus drei Teilen A – C zusammen. Teil A enthält 23 Fragen (Items) bezüglich der Funktion, Teil B enthält sieben Fragen bezüglich der Symptomatik und Teil C vier Fragen zu sportlicher und musikalischer Leistungsfähigkeit. Die Antwortoptionen reichen von 1 bis 5 (1: keine Schwierigkeit; 2: leichte Schwierigkeit; 3: mittlere Schwierigkeit; 4: schwere Schwierigkeit; 5: unfähig). Um den Score auswerten zu können, werden die vom Patienten eingeschätzten Punkte aller 30 Items (Teil A + Teil B) zu einem Rohwert addiert. Jedes Item kann mit einer Abstufung von 1-5 beantwortet werden, womit sich maximal 150 und minimal 30 Punkte ergeben können. Um eine übersichtlichere Vergleichbarkeit zu erreichen, wird der Rohwert mit folgender Formel in eine lineare Skala von 0 bis 100 umgerechnet:

$$\frac{[(\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte}) - 1] * 25}{n} = \text{DASH funktioneller Score}$$

Formel 1: DASH-Score Auswertungsalgorithmus [118], n=Anzahl der beantworteten Fragen

Demzufolge beschreibt ein Wert von 0 keine Einschränkung der Gebrauchsfähigkeit der oberen Extremität und 100 die maximale Beeinträchtigung im Alltag. Wurden drei und weniger Fragen (maximal 10% aller Fragen) nicht beantwortet, wurde der aus den beantworteten Fragen

resultierende Mittelwert für die fehlenden Antworten angenommen. Bei einer höheren Anzahl von fehlenden Fragen wurde der DASH-Score nicht ausgewertet. Mit diesem Vorgehen haben wir die Vorgaben des Autors befolgt [118].

PRWE-Score

Der PRWE-Score wurde ursprünglich 1998 von MacDermid et al. beschrieben [123]. Der Fragebogen ist von den Patienten selbst auszufüllen und stellt ein zuverlässiges und valides Instrument dar, Schmerzen und Einschränkungen des Handgelenks zu quantifizieren. Die Bereiche Schmerz und Funktion konnten als Priorität für die Bewertung der Handgelenksfunktion identifiziert werden [124]. Daher besteht der Fragebogen aus zwei Abschnitten. Der erste Abschnitt beinhaltet fünf Fragen zum Thema Schmerz und bezieht sich dabei auf Intensität und Häufigkeit. Der zweite Abschnitt besteht aus zehn Fragen zum Thema Funktion. Die Antwort auf jede Frage wird mittels einer Punkteskala von 0-10 beantwortet. Für die Auswertung des Scores wird der Punktwert des zweiten Abschnittes durch zwei dividiert und mit dem Punktwert des ersten Abschnittes addiert. Dementsprechend kann der Gesamtwert des Scores zwischen 0 und 100 Punkten liegen, wobei 0 Punkte einem gesunden Handgelenk und 100 einem stark beeinträchtigten Handgelenk entsprechen [115].

Numerische Rating-Skala (NRS)

Ein Hauptsymptom, welches Patienten nach einer Verletzung in ihrer Tätigkeit oder Lebensqualität einschränkt, ist der Schmerz. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Nachuntersuchung das Schmerzniveau jedes Patienten mittels der numerischen Rating-Skala bestimmt. Dabei sollte der Patient sein Schmerzniveau mit Angabe einer Zahl zwischen null („kein Schmerz“) bis zehn („stärkste, vorstellbare Schmerz“) angeben (siehe Abbildung 10). Der Punktwert 0 entsprach dabei „schmerzfrei“, ≤ 5 „leichter Schmerz“, 6-7 „mittlerer Schmerz“ und 8-10 „starker Schmerz“. Diese Skalen sind in der Schmerzmedizin und klinischen Forschung anerkannt und haben sich als zuverlässiges Mittel zur Beurteilung von Schmerzen bzw. Schmerztherapien erwiesen [125].

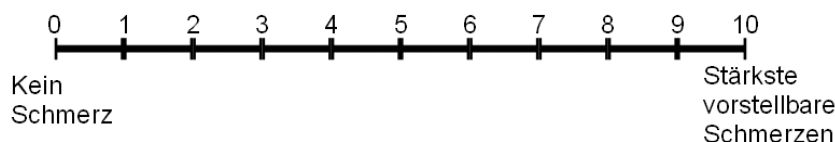


Abbildung 10: Numerische Rating-Skala (NRS) [126]

3.4.3 Röntgenuntersuchungen

Die Röntgenaufnahmen für die Diagnostik wurden im dorsopalmaren und im lateralen Strahlengang durchgeführt. Das Handgelenk befand sich in einer Neutralstellung, sowohl was die Extension und Flexion, als auch die Radial- und Ulnarabduktion betraf [2]. Die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung vorgelegten oder im Rahmen der Sprechstunde bei entsprechender Indikation neu angefertigten Röntgenaufnahmen (mind. 1 Jahr nach OP) (T2) wurden ausgewertet und mit präoperativen Aufnahmen einen Tag vor OP (+/- 2 Tage) (T0), sowie mit Aufnahmen, die einen Tag (+/- 2 Tage) vor Materialentfernung (T1, im Folgenden auch als kurz vor ME bezeichnet) durchgeführt wurden, verglichen. Ziel war es das Ausmaß eines eventuellen Wiederauftretens der SL-Diastase und die Flexion des Skaphoids im Verlauf zu beurteilen. Bei der Bildbeurteilung wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

(1) Dorsopalmarer Strahlengang

Im dorsopalmaren Strahlengang eines Handgelenks zeigt sich in der Neutralstellung das Lunatum trapezförmig. Das Lunatum weist in der DISI-Stellung eine schräg verlaufende keilförmige Konfiguration auf, die von der distalen ulnaren Ecke zur medialen Seite des Handgelenks verläuft [32]. Nach einer SL-Bandruptur kann es zu einer Erweiterung des SL-Spalts kommen (siehe Abbildung 11). In der Literatur wird eine Erweiterung von mehr als 3 mm als pathologisch bezeichnet [127]. Kindynis et al. empfehlen, die Diastase zwischen den flachen medialen Facetten von Lunatum und Skaphoid zu messen [128].



Abbildung 11: Röntgenbild in dorsopalmarer Aufnahme. Erweiterter skapholunärer Gelenkspalt einer alten Ruptur (Grad IV, statisch) durch Strich gekennzeichnet. (1) Radius, (2) Ulna, (3) Skaphoid, (4) Lunatum, (5) Triquetrum, (6) Pisiforme, (7) Trapezium, (8) Trapezoideum, (9) Kapitatum, (10) Hamatum

(2) Lateraler Strahlengang

Im lateralen Strahlengang lassen sich die karpalen Winkel bestimmen. Winkel außerhalb der Normwerte können als Hinweis für eine Handwurzelinstabilität gewertet werden. Typische Veränderungen zeigen sich bei der skapholunären Dissoziation mit der weiter oben erwähnten DISI-Fehlstellung des Lunatums [35]. In der vorliegenden Arbeit wurden die radiolunären und skapholunären Winkel gemessen.

(3) Skapholunärer Winkel

Der palmare proximale und distale Pol des Skaphoids und die distal liegenden palmaren und dorsalen Hörner des Lunatums werden jeweils durch eine Tangente miteinander verbunden. Der Winkel zwischen der Skaphoid-Tangente und der Senkrechten zur Lunatum-Tangente entspricht dem skapholunären Winkel, der Normwert liegt zwischen 30° und 60° [35]. Ein SL-Winkel von mehr als 70° deutet auf eine erhöhte palmare Flexion oder rotatorische Subluxation des Skaphoids hin (siehe Abbildung 12) [49].

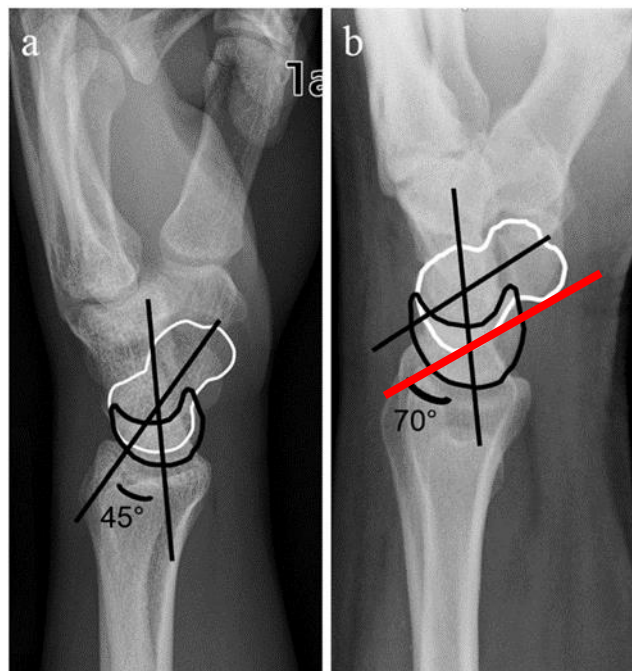


Abbildung 12: a Handgelenk im lateralen Strahlengang mit normaler karpaler Ausrichtung und mit einem normalen skapholunären Winkel von 45° , b Laterale Röntgenaufnahme eines Handgelenks mit Rotationssubluxation des Skaphoids und pathologischem Winkel von 70° . Die Skaphoidlinie wird erst an die Unterkante gelegt und kann dann verschoben werden, wobei der Winkel gleichbleibt [129].

(4) Radiolunäre Winkel

Durch die Axialmethode wird der Winkel zwischen der Längsachse des distalen Drittels des Radius und der Achse des Lunatums bestimmt. Dieser radiolunäre Winkel gibt Auskunft über die dorsale Extension des Lunatums und ist der beste Parameter für eine DISI [130]. Der Normwert liegt zwischen -15° und 15° , Werte über 15° weisen auf eine DISI hin [32].

Alle digital archivierten Röntgenaufnahmen wurden von zwei unabhängigen, erfahrenen Radiologen und einem Handchirurgen evaluiert und die Winkel der Karpalia sowie die SL-Distanz vermessen.

3.5 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in pseudonymisierter Form in Tabellen des Programmes Microsoft® Office Excel 2016 erfasst. Für die statistische Auswertung wurde das Statistikprogramm IBM SPSS Statistics 25 (IBM, Armonk, USA) verwendet. In den Übersichtstabellen wurden die untersuchten objektiven und subjektiven Parameter und die röntgenologischen Werte als Mittelwerte mit zugehöriger Standardabweichungen oder Mediane mit minimalen und maximalen Werte angegeben. Die im Fließtext erwähnten Daten entsprechen, insofern nicht anders angegeben, dem Mittelwert \pm Standardabweichung. Bei den Boxplots entspricht die Box dem Bereich in dem die mittleren 50% der Daten liegen, durch die Whisker werden das Minimum und Maximum dargestellt und die horizontale Linie zeigt den Median an.

Zur Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Gruppen, wurden bei kleiner Fallzahl nicht-parametrische Tests, der Friedman-Test bei mehreren verbundenen Gruppen und der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei zwei verbundenen Stichproben sowie der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich von nicht verbundenen Gruppen durchgeführt. Ein statistisch signifikanter Unterschied wurde bei $p < 0,05$ angenommen. Bei post-hoc Tests wurde das Signifikanzniveau mittels Bonferroni-Korrektur angepasst.

3.5.1 Röntgenologische Parameter

Für die statistische Analyse der röntgenologischen Daten wurde zunächst mittels des Friedman-Tests innerhalb der Gruppe für drei erfasste Zeitpunkte T0, T1 und T2 auf einen signifikanten Unterschied geprüft. Mittels post-hoc-Analyse mit dem Wilcoxon-Test wurden die Unterschiede zwischen T0 und T1, zwischen T1 und T2 sowie zwischen T2 und T0 nach Anpassung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni ermittelt. Um die Verteilung der drei Gruppen graphisch darzustellen, wurden Box-Plots verwendet. Der Asterisk (*) in den Abbildungen weist auf einen signifikanten Unterschied hin.

3.5.2 Männlich - Weiblich

Um zu analysieren ob zwischen der Gruppe der Männer und der Frauen Unterschiede hinsichtlich der erhobenen Merkmale bestehen, wurde der Mann-Whitney U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Um die Verteilung dieser beiden Gruppen graphisch darzustellen, wurden auch hier Box-Plots verwendet.

3.5.3 Korrelation

Korrelationskoeffizienten wurden erhoben, um zu evaluieren, ob ein Zusammenhang zwischen den erhobenen Parametern und des Zeitraumes zwischen Verletzung und Operation bestand. Um die Beziehung zwischen den zwei Variablen zu quantifizieren, wurde der Spearman Korrelationskoeffizient berechnet. Der Spearman Korrelationskoeffizient ist im folgenden Text mit r angegeben.

4 Ergebnisse

4.1 Darstellung des Patientenkollektivs

Von den 71 Patienten mit SL-Bandruptur wurden 53 Patienten mittels der 3LT SL-Bandrekonstruktion nach Garcia-Elias und 18 Patienten je nach Stadium mit alternativen Behandlungsmethoden operativ versorgt (siehe Abbildung 13). Alternative Behandlungsmethoden waren: SL-Naht, SL-Shrinking, knöcherne Refixation, Kapsulodese, temporäre Arthrodese, Immobilisation in HG-Extension, dorsale Anfrischung mit temporärer Arthrodese.

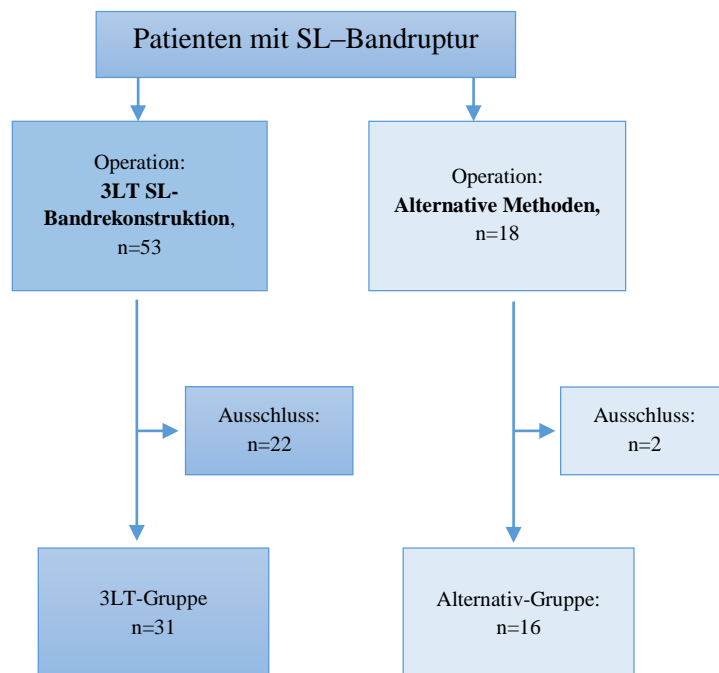


Abbildung 13: Zusammensetzung des Patientenkollektivs, 3LT-Gruppe = Patienten mit 3LT SL-Bandrekonstruktion, Alternativ-Gruppe = Patienten mit Behandlung durch alternative Methoden, n=Anzahl der Patienten

Insgesamt wurden 47 Patienten, die aufgrund einer SL-Bandruptur behandelt worden waren in die Studie eingeschlossen. 31 Patienten waren mit 3LT versorgt worden, die restlichen 16 Patienten waren mit alternativen Methoden zur SL-Bandrekonstruktion behandelt worden. Die Gruppe der Patienten mit 3LT SL-Bandrekonstruktion wird im Folgenden als 3LT-Gruppe bezeichnet. Die Patientengruppe, die mit alternativen Methoden versorgt wurde, wird im Folgenden Alternativ-Gruppe genannt.

Aus dem initialen Patientenkollektiv wurden insgesamt 24 Patienten nicht in die Studie eingeschlossen. Davon waren 22 Patienten aus der 3LT-Gruppe und 2 Patienten aus der Alternativ-Gruppe.

4.1.1 Drop-outs

Insgesamt wurde bei 13 Patienten die Nachuntersuchung nicht durchgeführt. Davon stammten 11 Patienten aus der 3LT-Gruppe und zwei Patienten aus der Gruppe, die mit alternativen Methoden behandelt wurden. Die Gründe für die Nichtdurchführung der Nachuntersuchung bei diesen 13 Patienten sind im Folgenden aufgeführt.

- Vier Patienten waren unbekannt verzogen und weder über das Einwohnermeldeamt noch über das Sozialamt auffindbar
- Sechs Patienten konnten oder wollten aus persönlichen Gründen eine Nachuntersuchung nicht wahrnehmen
- Drei Patienten willigten einer Nachuntersuchung nicht ein

4.1.2 Nachträglicher Ausschluss von Patienten

Weiterhin wurden 11 Patienten, die alle der 3LT-Gruppe angehörten, aus unten genannten Gründen nachträglich ausgeschlossen.

- Vier Patienten hatten bereits eine SL-Bandrekonstruktionen vor der Versorgung mit 3LT
- Ein Patient hatte bereits eine TFCC-Rekonstruktion vor der Versorgung mit 3LT
- Zwei Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, aufgrund einer Reruptur des SL-Bandes nach primärer Versorgung mittels 3LT mit einer mediokarpalen Teilarthrodese versorgt (Operationskomplikation)
- Ein Patient hatte eine distale Radiusfraktur als Begleitverletzung
- Ein Patient wies bei OP eine Agenesie des SL-Bandes auf
- Ein Patient hatte zusätzlich eine Einschränkung des kontralateralen Handgelenks
- Ein Patient hatte eine beidseitige SL-Bandruptur

4.1.3 Demographische Daten

Demographische Daten von 31 Patienten aus der 3LT-Gruppe wurden erhoben. Tabelle 1 zeigt die demographische Zusammensetzung der 3LT-Gruppe. In der 3LT-Gruppe befanden sich deutlich mehr männliche als weibliche Patienten (Männer n=28, Frauen n=3).

Tabelle 1: Demographische Daten der 3LT-Gruppe

	3 LT-Gruppe n= 31
Geschlecht	
männlich	28
weiblich	3
Mittleres Alter	43,8 ± 10,1
Operierte Seite	
rechts	21
links	10
Verletzungsmechanismus	
Verdrehtrauma	14
Sturz	12
Verkehrsunfall	5
Versicherungsstatus	
Berufsgenossenschaft	20
Private Krankenversicherung	3
Gesetzliche Krankenversicherung	8
Berufswechsel	
Zurück im alten Beruf	22
Abteilungswechsel	2
Berufswechsel	5
Sonstige**	2

** = 1 Schülerin, 1 Arbeitsloser

3LT-Gruppe = Patienten mit 3LT SL-Bandrekonstruktion

SD = Standardabweichung

n = Patientenanzahl

Zwischen Männern und Frauen zeigte sich kein signifikanter Unterschied bei Betrachtung des Lebensalters zum Zeitpunkt der Operation (siehe Abbildung 14).

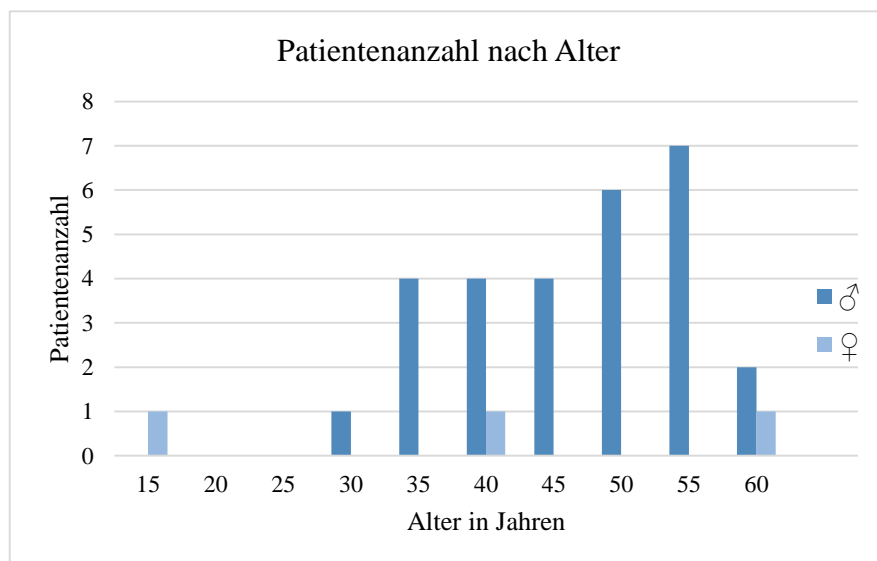


Abbildung 14: Altersverteilung. Das Alter der männlichen und weiblichen Patienten ist zum Operationszeitpunkt nicht signifikant unterschiedlich, n=31, p=1, Mann-Whitney-U-Test

4.2 Ergebnisse der Untersuchung der 3LT-Gruppe

Im folgenden Abschnitt werden die Daten der Patientengruppe ausgewertet, die mit der Tri-Ligament-Tenodese nach Garcia-Elias operativ versorgt wurden.

4.2.1 Dominanz und Seitenverteilung der operierten Hand

In der 3LT-Gruppe waren alle Patienten rechtsdominant. Bei 21 Patienten (67,7%) wurde die 3LT-Operation an der rechten Hand durchgeführt, bei 10 Patienten (32,3%) erfolgte diese an der linken Hand. Es zeigte sich, dass die dominante Hand deutlich häufiger operiert wurde.

4.2.2 Ipsilaterale Begleitverletzungen

Ipsilaterale Begleitverletzungen fanden sich bei 8 der 31 operativ mittels 3LT versorgten Patienten. Davon wiesen vier Patienten eine Läsion des triangulären fibroartilaginären Komplexes (TFCC) auf. Bei zwei Patienten wurde eine LT-Bandruptur diagnostiziert. Ein Patient wies eine Fraktur des Hamatums und ein Patient eine Fraktur der Ulna auf.

4.2.3 Zeiträume

Der Zeitraum zwischen Verletzungszeitpunkt und 3LT-Operation lag zwischen 0,3 und 39,6 Monaten ($6,8 \pm 8,8$ Monate). Die Abbildung 15 zeigt ein Histogramm der Patientenverteilung mit einer Klassenbreite von einem Monat.

Das Gros der Patienten (77,4%) wurde innerhalb der ersten 6 Monate nach der Verletzung operiert. Der durchschnittliche Zeitraum zwischen Operation und Nachuntersuchung lag zwischen 3,2 und 48,9 Monaten ($23,4 \pm 8,3$ Monate). Die Zeit der Krankschreibung belief sich auf einen Zeitraum zwischen 0 und 34 Monaten ($8,9 \pm 7,7$ Monate).

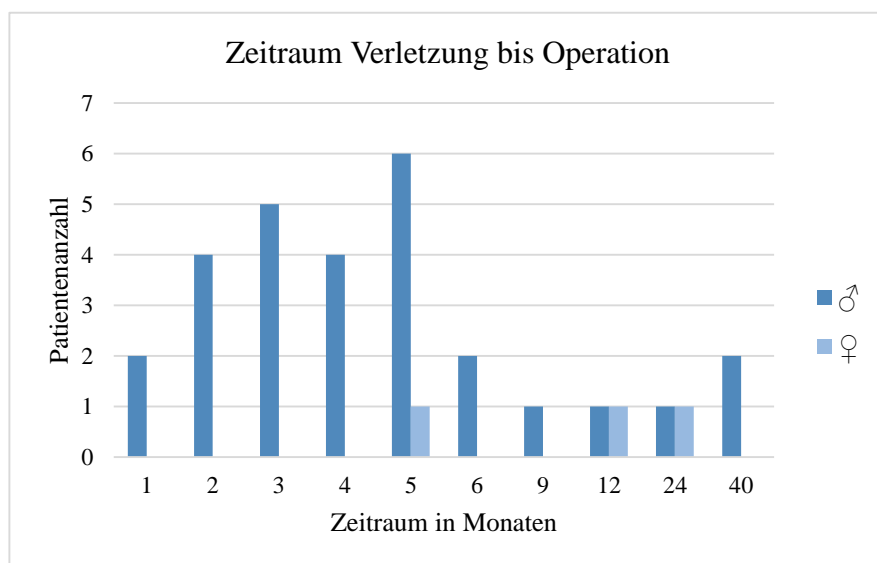


Abbildung 15: Übersicht über die Verteilung der Patienten in Bezug auf den Zeitraum zwischen Verletzung und Operation, n=31

4.3 Auswertung der objektiv klinischen Funktionsparameter

Objektiv klinische Funktionsparameter wurden postoperativ am operierten Handgelenk (im Folgenden als postoperative Gruppe bezeichnet) sowie am kontralateralen gesunden Handgelenk (im Folgenden als kontralaterale Gruppe bezeichnet) ermittelt.

4.3.1 Handspanne und Bewegungsumfang des Handgelenks

Die Ergebnisse der untersuchten Handspanne und des Bewegungsumfanges des Handgelenks sind in Tabelle 2 dargestellt. Es zeigten sich signifikante Unterschiede im Ausmaß von Handspanne, Pronation/Supination, Extension/Flexion sowie Radial- und Ulnarabduktion.

Tabelle 2: Darstellung der Ergebnisse von Handspanne und Bewegungsumfang des Handgelenks

	Postoperative Gruppe n=31			Kontralaterale Gruppe n=31			Signifikanz p-Wert
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	
Handspanne [cm]	20,4 ± 2,3	20,5	15 - 25	21,4 ± 1,7	21	17,5 - 25	<0,001
ROM (Pronation/Supination) [°]	157,7 ± 18,4	160	90 - 170	170,3 ± 1,8	170	170 - 180	<0,001
Pronation [°]	75,0 ± 7,4	80	45 - 80	80,3 ± 1,8	80	80-90	<0,001
Supination [°]	82,7 ± 13,9	90	30 - 90	90 ± 0	90	90-90	0,003
ROM (Extension/Flexion) [°]	72,1 ± 32,6	80	18 - 140	120,8 ± 17,8	120	78 - 160	<0,001
Extension [°]	38,5 ± 17,4	38	10 - 80	59,5 ± 11,5	60	30 - 90	<0,001
Flexion [°]	33,5 ± 17,6	35	0 - 60	61,3 ± 13,5	64	10 - 80	<0,001
ROM (Radial/Ulnar) [°]	46,2 ± 17,3	42	16 - 80	75,3 ± 12,5	74	52 - 105	<0,001
Radialabduktion [°]	21,4 ± 9,1	20	8 - 40	32,4 ± 7,5	30	18 - 50	<0,001
Ulnarabduktion [°]	24,8 ± 9,8	24	8 - 40	42,9 ± 6,8	42	30 - 55	<0,001

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum
Wilcoxon-Test

Handspanne

Im Mittel lag die Einschränkung der Handspanne der operierten Seite bei 1,0 cm (Einschränkung von 4,7% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Die Handspanne war zwischen den beiden untersuchten Gruppen signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$, siehe Abbildung 16).

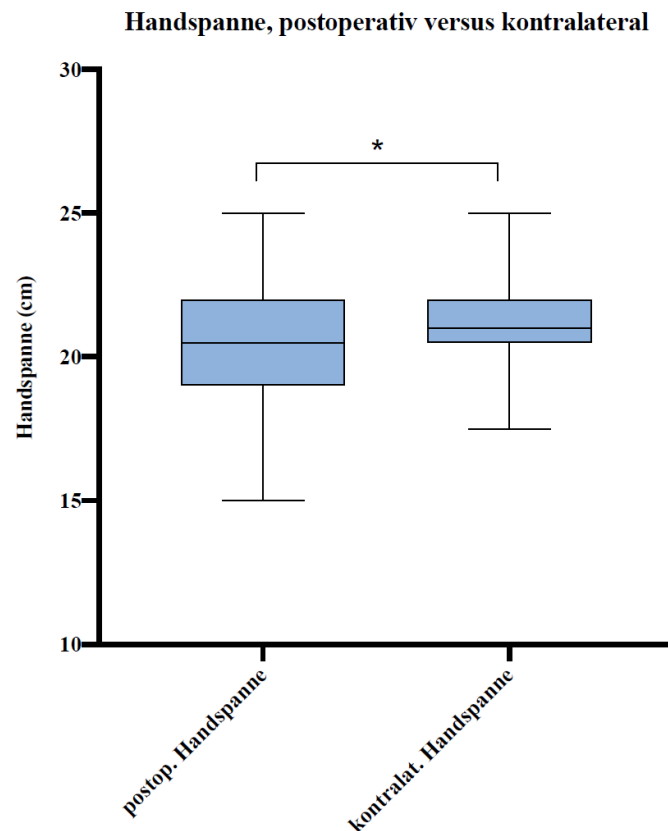


Abbildung 16: Darstellung der medianen Handspanne in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an

Pronation/Supination

Im Mittel lag die Bewegungseinschränkung des ROM von Pronation und Supination der operierten Hand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei $12,6^\circ$ (Bewegungseinschränkung von 7,4% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Die mittlere Bewegungseinschränkung der Pronation der operierten Hand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lag bei $5,3^\circ$ (Bewegungseinschränkung von 6,6% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und die der Supination bei $7,3^\circ$ (Bewegungseinschränkung von 8,1% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Das Ausmaß der möglichen Pronation und Supination in der postoperativen Gruppe war signifikant niedriger ($p < 0,001$, siehe Abbildung 17).

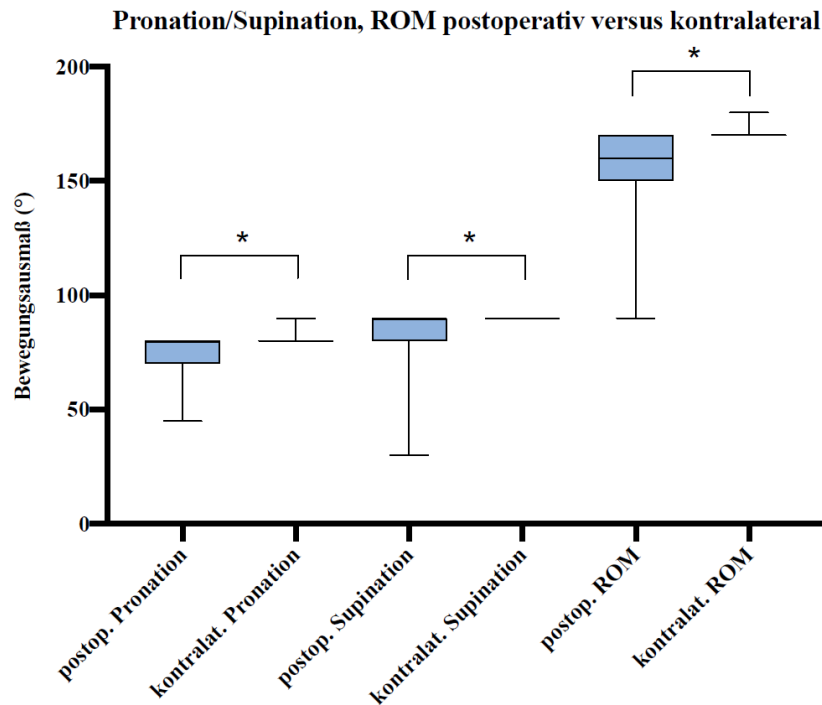


Abbildung 17: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße für Pronation/Supination in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an

Extension/Flexion

Im Mittel lag die Bewegungseinschränkung des ROM von Extension und Flexion der operierten Hand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei 48,7° (Bewegungseinschränkung von 40,3% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Die durchschnittliche Bewegungseinschränkung der Extension der operierten Hand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lag bei 21,0° (Bewegungseinschränkung von 35,3% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und das der Flexion bei 27,8° (Bewegungseinschränkung von 45,4% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen postoperativer und kontralateraler Gruppe ($p < 0,001$, siehe Abbildung 18). Insgesamt zeigte sich bei der Auswertung des Bewegungsumfangs für Extension/Flexion eine größere Streuung der Messwerte, die bei der Untersuchung der postoperativen Gruppe erhoben wurden. Die Standardabweichung der Messwerte für ROM innerhalb der postoperativen Gruppe betrug 32,6° (Varianz von 45,2%) und die der kontralateralen Gruppe 17,8° (Varianz von 14,7%).

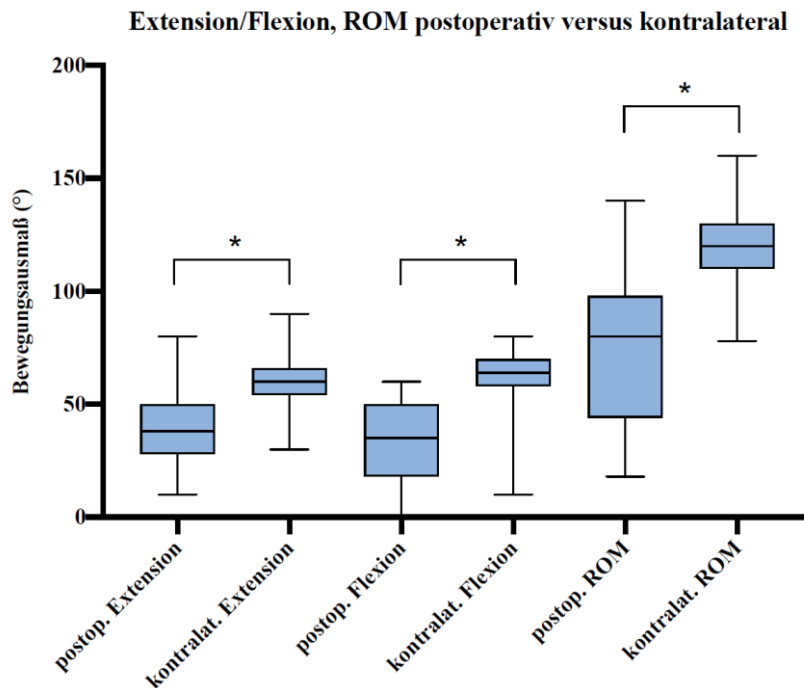


Abbildung 18: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße für Extension/Flexion in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an

Radialabduktion/Ulnarabduktion

Radial- und Ulnarabduktion zeigten eine mittlere Einschränkung nach 3LT-Operation von 29,1° (38,6%) im Vergleich zur kontralateralen Gruppe. Der Bewegungsgrad der Ulnarabduktion war um 18,1° (Bewegungseinschränkung von 42,2% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe), der Bewegungsgrad der Radialabduktion um 11,0° (Bewegungseinschränkung von 34,0% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) geringer. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen postoperativer und kontralateraler Gruppe ($p < 0,001$, Abbildung 19). Die Standardabweichung der Messwerte für ROM innerhalb der postoperativen Gruppe betrug 17,3° (Varianz von 37,5%) und die der kontralateralen Gruppe 12,5° (Varianz von 16,5%).

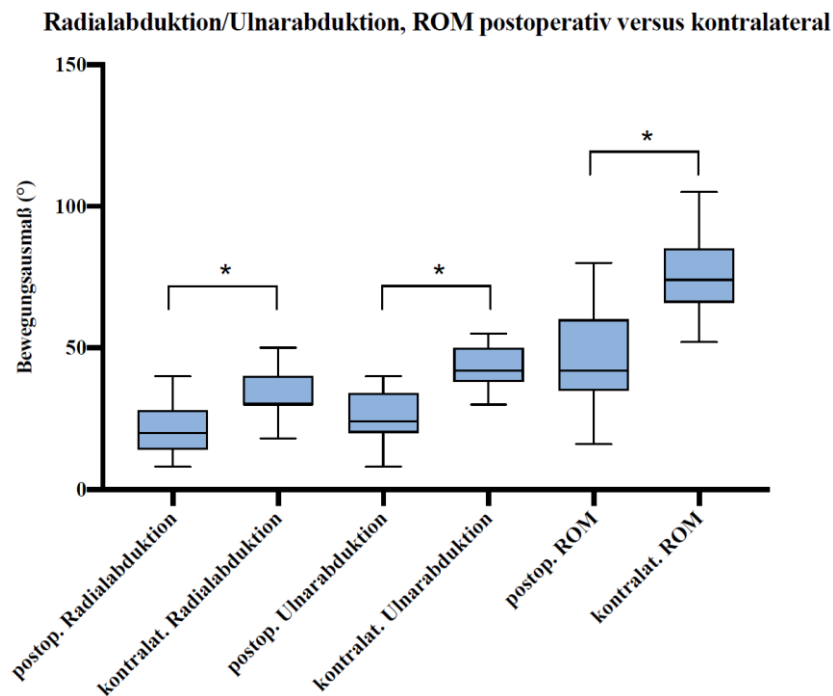


Abbildung 19: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße für Extension/Flexion in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an

4.3.2 Kraft

Die Grobkraft (Jamar) der postoperativen Seite war im Mittel 10,7 kgF (Krafteinschränkung von 27,7% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) geringer als die der Kontrollhand. Ähnliches galt für die Kraft des Schlüsselgriffes, der Unterschied lag hier bei 1,7 kgF (Krafteinschränkung von 18,9% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Bei Betrachtung des Spitzgriffes, ließ sich eine Differenz von 1,9 kgF (Krafteinschränkung von 28,8% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) feststellen. Der Vergleich der Kraft zwischen postoperativer und kontralateraler Gruppe zeigte einen signifikanten Unterschied für Grob-, Schlüssel- und Spitzkraft ($p \leq 0,001$; siehe Tabelle 3, Abbildung 20 und 21).

Tabelle 3: Übersicht Kraftmessung

	Postoperative Gruppe n=31			Kontralaterale Gruppe n=31			Signifikanz p-Wert
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	
Grobkraft [kgF]	27,9 ± 12,3	27	0,5 - 53	38,6 ± 8,8	37	17 - 52	<0,001
Kraft Schlüsselgriff [kgF]	7,3 ± 2,9	8	0 - 13	9,0 ± 1,6	9	5 - 12	0,001
Kraft Spitzgriff [kgF]	4,7 ± 2,3	4,5	0 - 9	6,6 ± 1,7	6	4 - 10	<0,001

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum
Wilcoxon-Test

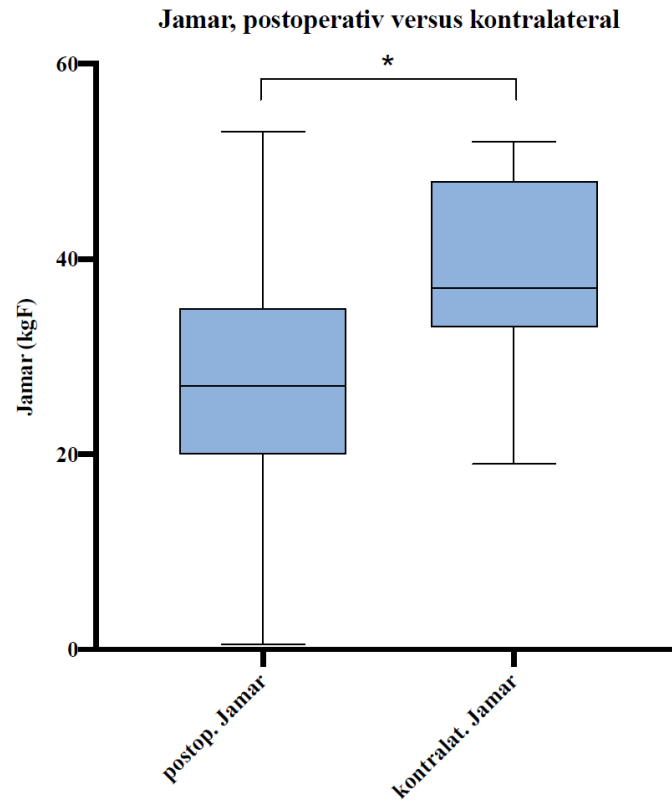


Abbildung 20: Darstellung der medianen Grobkraft in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an

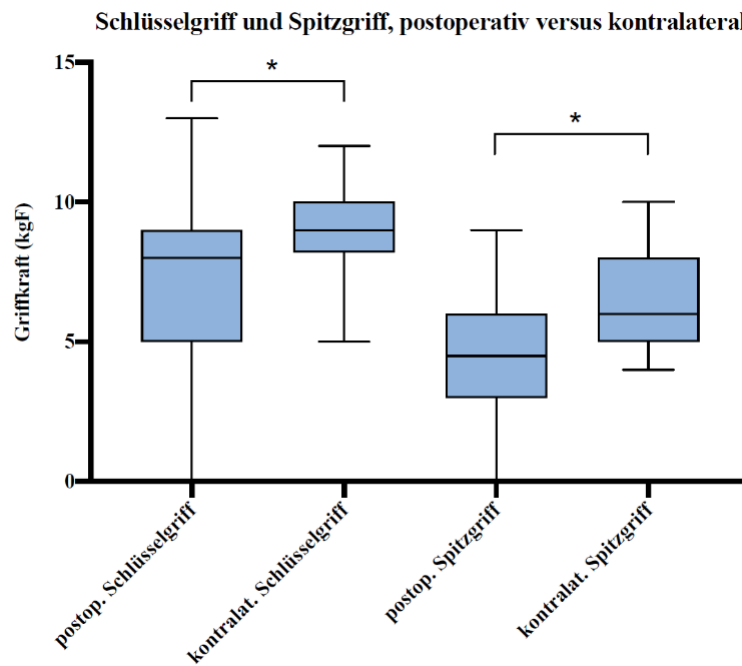


Abbildung 21: Darstellung der medianen Griffkraft in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an

4.3.3 Mayo-Wrist-Score

Im Mayo-Wrist-Score erreichten fünf Patienten ein "gutes Ergebnis" (80 - 89 Punkte), 10 Patienten ein "befriedigendes Ergebnis" (65 - 79 Punkte) und 16 Patienten ein "schlechtes Ergebnis" (<65 Punkte). Keiner der untersuchten Patienten erreichte ein "sehr gutes Ergebnis" (90 – 100). Die Patientenverteilung bezüglich der Ergebnisse des Mayo-Wrist-Scores ist in Abbildung 22 dargestellt.

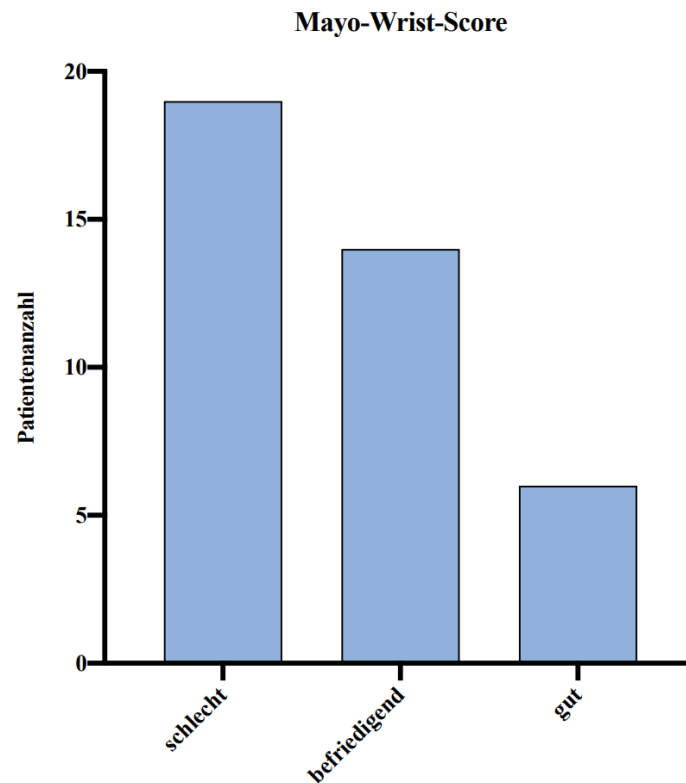


Abbildung 22: Darstellung der Patientenverteilung der Ergebnisse des Mayo-Wrist-Scores.

4.4 Auswertung der subjektiven Parameter

Die Auswertung der subjektiven Messparameter der NRS, des DASH-Scores und des PRWE-Scores sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Subjektive Messparameter NRS, DASH, PRWE

	M ± SD	Median	Min - Max
Schmerzen in Ruhe (VAS/0-10)	0,8 ± 1,5	0	0 - 6
Schmerzen unter Belastung (VAS/0-10)	3,7 ± 2,4	4	0 - 8
Postoperativer DASH (0-100)	28,1 ± 22,4	28	0 - 86
PRWE (0-150)	30,6 ± 21,9	32	0 - 69

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen DASH-Score und Mayo-Wrist-Score ($n=31$, $r=0,768$, $p<0,001$) sowie eine signifikante Korrelation zwischen DASH-Score und PRWE-Score ($n=31$, $r=0,810$, $p<0,001$).

4.4.1 Numerische Rating-Skala

Abbildung 23 zeigt eine Übersicht über die erfassten Ergebnisse der numerischen Rating-Skala (NRS). Der Großteil (30 von 31 Patienten) der Untersuchungsgruppe gab an, im Ruhezustand schmerzfrei zu sein oder leichte Schmerzen zu haben. Wurde die operierte Hand belastet, so ergab sich ein Bild über das gesamte Spektrum von schmerzfrei bis zu starken Schmerzen.

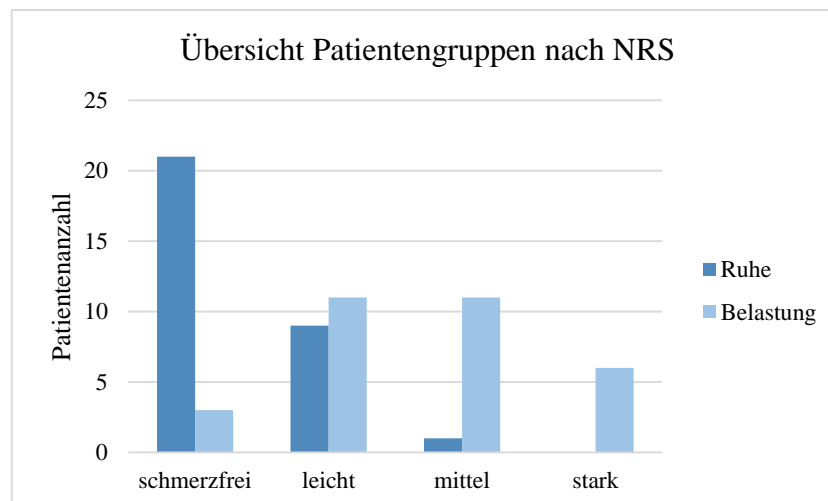


Abbildung 23: Patientenverteilung der Ergebnisse der NRS.

4.4.2 DASH-Score

Bei der Befragung von 31 Patienten mittels des DASH-Fragebogens ergab sich ein mittlerer Punktwert von $28,1 \pm 22,4$ Punkten (0 = bestes Ergebnis, 100 = schlechtestes Ergebnis). Das beste Ergebnis belief sich auf 0 Punkte und das schlechteste Ergebnis auf 86 Punkte. Die Verteilung der Patienten bezüglich der Punkte des Scores zeigt Abbildung 24.

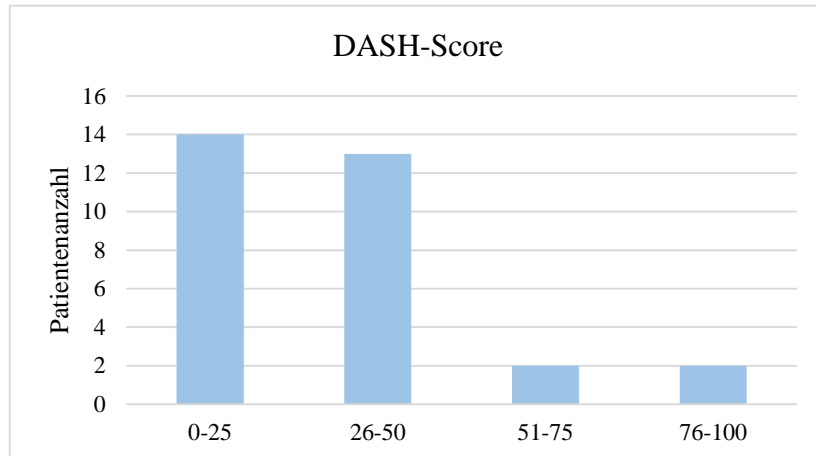


Abbildung 24: Patientenverteilung der Ergebnisse des DASH-Score

4.4.3 PRWE-Score

Die Auswertung des PRWE-Scores ergab einen mittleren Punktwert von $30,6 \pm 21,9$ Punkte (0 = bestes Ergebnis, 100 = schlechtestes Ergebnis). Es wurden Gesamtpunktzahlen zwischen 0 und 69 Punkten erreicht.

4.5 Auswertung der Radiologischen Daten

Im Folgenden werden die erhobenen radiologischen Daten zu den drei erfassten Zeitpunkten in tabellarischer und graphischer Form dargestellt (siehe Tabelle 5). Dabei entsprach die Bezeichnung "präoperativ" dem Zeitpunkt vor Durchführung des Eingriffs mittels 3LT (im folgenden T_0 genannt). Die Angabe "vor ME" entsprach dem aktuellsten Röntgen vor der Entfernung der Kirschner-Drähte (im folgenden T_1). Die Bezeichnung "postoperativ" entsprach dem zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung aktuellsten Röntgenbild (im folgenden T_2), was im Mittel einen Zeitpunkt 653,1 Tage nach Operation bezeichnete (Median 612,5, Min-Max 216,0-963,0).

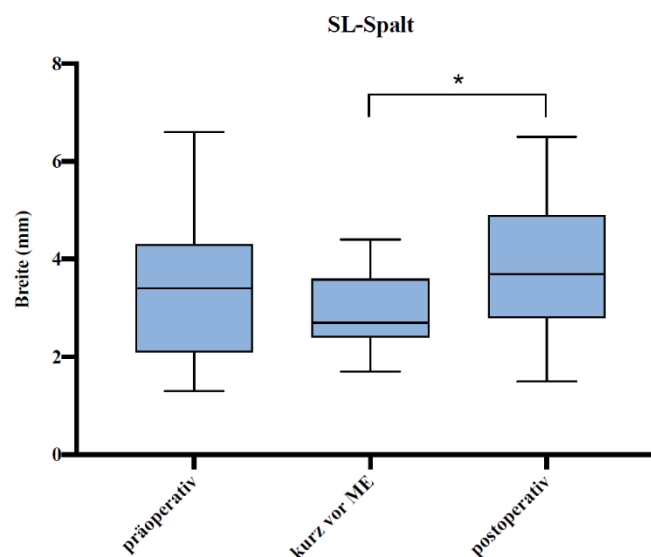
Tabelle 5: Übersicht über die radiologischen Daten

	präoperativ (T0), n=31			kurz vor ME (T1), n=31			postoperativ (T2), n=31		
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max
SL-Spalt [mm]	3,4 ± 1,4	3,4	1,3 - 6,6	2,9 ± 0,7	2,7	1,7 - 4,4	3,8 ± 1,2	3,7	1,5 - 6,5
SL-Winkel [°]	70,2 ± 13,3	74,5	42 - 89,5	49,9 ± 11,7	51	25,7 - 71,7	70,4 ± 11,3	74,3	46,3 - 84,5
RL-Winkel [°]	10,8 ± 10,3	9,8	-9,5-29,5	3,0 ± 10,4	4,7	-30-16,3	10,7 ± 10,9	10	-31,5-26,3

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum

4.5.1 SL-Spalt

Über allen drei Messzeitpunkten zeigte sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Größe des SL-Spaltes (n=31, p=0.011, Friedman-Test). Zur Feststellung, zwischen welchen Zeitpunkten ein Unterschied bestand, wurde ein post-hoc Test mit angepasstem Signifikanzniveau durchgeführt. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen dem Zeitpunkt kurz vor ME (T1) und dem postoperativen Zeitpunkt (T2) gesichert werden (p<0,001, Wilcoxon-Test, siehe Abbildung 25). Zwischen dem präoperativen Zeitpunkt (T0) und dem Zeitpunkt kurz vor ME (T1) ließ sich kein signifikanter Unterschied nachweisen (p=0.119, Wilcoxon-Test).

**Abbildung 25:** SL-Spalt; präoperativ, kurz vor ME, postoperativ

4.5.2 SL-Winkel

Über die drei Untersuchungspunkte war ein signifikanter Unterschied im Ausmaß des SL-Winkels feststellbar (n=31, p=0<0,001, Friedman-Test). Mittels post-hoc Test konnte dieser zwischen dem präoperativen Zeitpunkt (T0) und dem Zeitpunkt kurz vor ME (T1) (p<0,001, Wilcoxon-Test) sowie zwischen T1 und dem postoperativen Zeitpunkt (T2) (p<0,001, Wilcoxon-Test) gesichert werden. Die Werte zwischen präoperativen (T0) und postoperativen

Zeitpunkt (T2) waren nicht signifikant unterschiedlich ($p=0,891$, Wilcoxon-Test, siehe Abbildung 26).

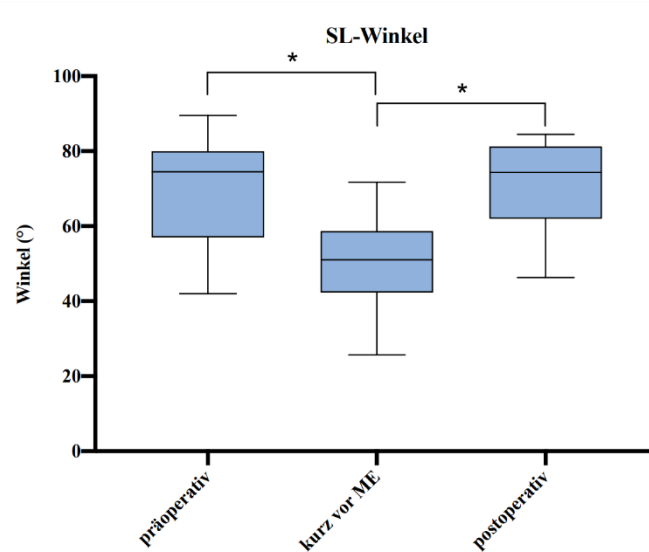


Abbildung 26: SL-Winkel; präoperativ, kurz vor ME, postoperativ

4.5.3 RL-Winkel

Bei Betrachtung der Werte zeigten sich Unterschiede des RL-Winkels über die Zeit von T_0 bis T_2 ($n=31$, $p=0,006$, Friedman-Test).

Im post-hoc Test zeigte sich nach Bonferroni-Korrektur ein signifikanter Unterschied zwischen dem präoperativen Zeitpunkt (T_0) und dem Zeitpunkt kurz vor ME (T_1) ($p=0,008$, Wilcoxon-Test) sowie ein Unterschied zwischen dem Zeitpunkt kurz vor ME (T_1) und dem postoperativen Zeitpunkt (T_2) ($p=0,001$, Wilcoxon-Test). Zwischen dem präoperativen (T_0) und dem postoperativen Zeitpunkt (T_2) konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p=0,812$, Wilcoxon-Test, siehe Abbildung 27).

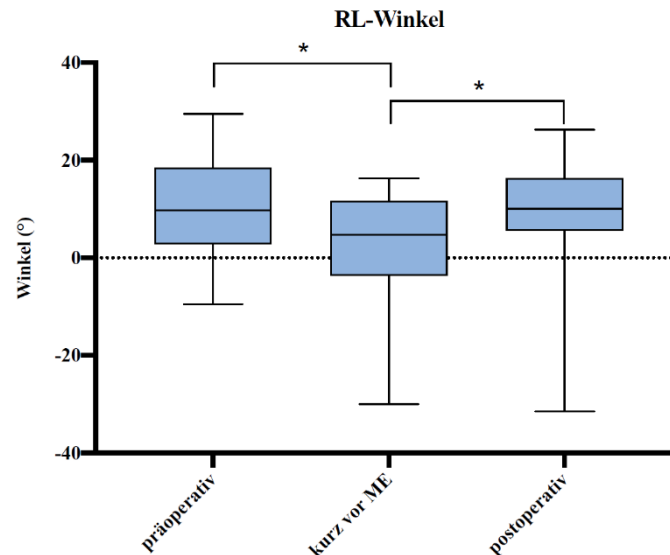


Abbildung 27: RL-Winkel; präoperativ, kurz vor ME, postoperativ

4.6 Komplikationen

Neben denen in 4.1.2 genannten Komplikationen (Zwei Patienten mit Reruptur des SL-Bereiches nach 3LT), die zum nachträglichen Ausschluss der Patienten aus der 3LT-Gruppe führten, entwickelten zwei weitere Patienten Komplikationen nach 3LT-Operation: Ein Patient entwickelte ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS) vom Typ I und ein Patient erlitt im Rahmen der Arthroskopie eine Ruptur der EPL-Sehne (Extensor pollicis longus-Sehne). Die beiden letzteren Patienten wurden in der 3LT-Gruppe belassen.

4.7 Vergleich von männlichen und weiblichen Patienten

Im Folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse abhängig vom Geschlecht dargestellt. Das Patientenkollektiv (n=31) bestand aus 28 Männern (90,3%) und 3 Frauen (9,7%).

4.7.1 Vergleich der Bewegungsdaten

Männer wurden im Durchschnitt bereits $6,5 \pm 9,1$ Monate nach der Verletzung operiert. Frauen wurden mit einem durchschnittlichen Zeitraum von $10,6 \pm 6,3$ Monaten zwischen Verletzung und Operation signifikant später operiert. Die Gruppe der Frauen erreichte im Durchschnitt ein größeres postoperatives Bewegungsausmaß als die Gruppe der Männer. Es bestand jedoch kein signifikanter Unterschied. Bei Betrachtung der Greifkraft der Grobkraftmessung und des Schlüsselgriffs der kontralateralen Hand zeigte sich, dass die Männer signifikant mehr Kraft aufbringen konnten als die Gruppe der Frauen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Geschlechtervergleich objektiv klinischer Funktionsparameter

	Männlich			Weiblich			Signifikanz p-Wert
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	
Alter	44,6 ± 8,4	45,2	29,2 - 60	36,8 ± 22,1	37,2	14,5 - 58,8	0,635
Zeitraum Verletzung bis OP [Monate]	6,5 ± 9,1	3,8	0,3 - 39,6	10,6 ± 6,3	11,2	4 - 16,5	0,14
postop. ROM (Pronation/Supination) [°]	156,4 ± 18,9	160	90 - 170	170 ± 0	170	170 - 170	0,122
kontralat. ROM (Pronation/Supination) [°]	170 ± 0	170	170 - 170	173,3 ± 5,8	170	170 - 180	0,385
Vergleich zur Gegenseite P/S [%]	92 ± 11	94	53 - 100	98 ± 3	100	94 - 100	0,256
postop. ROM (Extension/Flexion) [°]	71,7 ± 32,6	74	18 - 140	75,3 ± 39,3	96	30 - 100	0,826
kontralat. ROM (Extension/Flexion) [°]	120,6 ± 18,5	120	78 - 160	122,7 ± 12,7	130	108 - 130	0,925
Vergleich zur Gegenseite E/F [%]	57 ± 24	61	15 - 100	60 ± 28	74	28 - 77	0,777
postop. ROM (Radial/Ulnar) [°]	46 ± 17,5	42	16 - 80	48,7 ± 19,4	44	32 - 70	0,777
kontralat. ROM (Radial/Ulnar) [°]	73,9 ± 11,3	72	52 - 94	88,3 ± 17,6	90	70 - 105	0,105
Vergleich zur Gegenseite R/U [%]	60 ± 21	57	25 - 100	54 ± 11	49	46 - 67	0,503
postop. Handspanne [cm]	20,6 ± 2,2	20,8	15 - 25	18,3 ± 2,3	17	17 - 21	0,159
kontralat. Handspanne [cm]	21,6 ± 1,5	21,3	19 - 25	19 ± 1,8	18,5	17,5 - 21	0,03
Vergleich zur Gegenseite [%]	95 ± 6	95	70 - 100	96 ± 4	97	92 - 100	0,925
postop. Grobkraft [kgF]	29,2 ± 12,3	28	0,5 - 53	17,3 ± 4,2	16	14 - 22	0,105
kontralat. Grobkraft [kgF]	40,5 ± 8,9	39	17 - 59	22,7 ± 3,5	23	19 - 26	< 0,001
Vergleich zur Gegenseite [%]	73 ± 28	80	1 - 119	77 ± 14	84	61 - 85	0,925
postop. Kraft Schlüsselgriff [kgF]	7,7 ± 3,0	8	0 - 13	5,7 ± 2,1	5	4 - 8	0,349
kontralat. Kraft Schlüsselgriff [kgF]	9,6 ± 2,1	9	3 - 15	6,3 ± 1,5	6	5 - 8	0,003
Vergleich zur Gegenseite [%]	81 ± 28	89	0 - 144	89 ± 19	100	67 - 100	0,681
postop. Kraft Spitzgriff [kgF]	5,1 ± 2,4	5,5	0 - 9	3,8 ± 0,8	4	3 - 4,5	0,503
kontralat. Kraft Spitzgriff [kgF]	6,9 ± 2	6,9	3 - 12	5,5 ± 0,9	6	4,5 - 6	0,316
Vergleich zur Gegenseite [%]	73 ± 25	77	0 - 100	72 ± 25	67	50 - 100	1,00

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,

Min = Minimum, Max = Maximum

Mann-Whitney-U-Test

4.7.2 Vergleich der subjektiven Parameter

Die Auswertung der subjektiven Parameter ergab, dass die untersuchten Frauen in Ruhe weniger Schmerz angaben, als die untersuchten Männer. Unter Belastung gaben die Männer durchschnittlich mit $3,6 \pm 2,4$ Punkte weniger Schmerzen an als die Frauen mit einem Wert von $4,7 \pm 2,5$ auf der NRS. Im DASH-Score erreichte die Gruppe der Frauen einen höheren Punktwert als die Gruppe der Männer. Die Ergebnisse sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Vergleich subjektiver Parameter männlich/weiblich

	Männlich			Weiblich			Signifikanz p-Wert
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	
Schmerzen in Ruhe (VAS/0-10)	0,9 ± 1,5	0	0 - 6	0,7 ± 1,2	0	0 - 2	0,975
Schmerzen unter Belastung (VAS/0-10)	3,6 ± 2,4	4	0 - 8	4,7 ± 2,5	5	02. Jul	0,503
Postoperativer DASH (0-100)	26 ± 21	27,6	0 - 86	46,9 ± 31,3	48,3	15 - 77,5	0,229
PRWE (0-150)	30,2 ± 22,5	29,8	0 - 69	34,5 ± 18,6	45	13 - 45,5	0,826

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,

Min = Minimum, Max = Maximum

Mann-Whitney-U-Test

4.7.3 Vergleich der Röntgendaten

Bezüglich der radiologischen Parameter bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Vergleich der Röntgendaten männlich/weiblich

	Männlich			Weiblich			Signifikanz p-Wert
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	
Präoperativ							
SL-Spalt	3,4 ± 1,3	3,5	1,3 - 5,6	3,4 ± 2,8	1,9	1,7 - 6,6	0,610
SL-Winkel	70,2 ± 13,4	73,5	42 - 89,5	70,3 ± 15,5	78,5	52,5 - 80	0,769
RL-Winkel	11,6 ± 10	10	-9,5 - 29,5	2,7 ± 1,3	-1,5	-6 - 15,5	0,146
kurz vor ME							
SL-Spalt	2,9 ± 0,7	2,8	1,7 - 4,4	2,6 ± 0,9	2,3	1,8 - 3,6	0,152
SL-Winkel	49 ± 11,3	50,7	25,7 - 65,7	58,4 ± 14,9	61,3	42,3 - 71,7	0,474
RL-Winkel	3,2 ± 10,4	4,8	-30 - 16,3	1,6 ± 12,7	2	-11,3 - 14	0,474
postoperativ							
SL-Spalt	3,8 ± 1,2	3,8	1,5 - 6,5	3,5 ± 1,2	2,9	2,7 - 5	0,663
SL-Winkel	70,6 ± 11,8	74,8	46,3 - 84,5	68,8 ± 5	69,3	63,5 - 73,5	0,394
RL-Winkel	10,3 ± 11,3	9,9	-31,5 - 26,3	14,1 ± 7,7	16,3	5,5 - 20,5	0,909

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum
Mann-Whitney-U-Test

4.8 Auswertung der Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter

Im Folgenden werden die Messdaten des ROM, der Kraft, der subjektiven Parameter und die Röntgenauswertung in Abhängigkeit vom Zeitraum zwischen der Verletzung bis zur 3LT-Operation dargestellt.

4.8.1 Auswertung der Funktionsparameter in Abhängigkeit vom Verletzungsalter

Das durchschnittliche Verletzungsalter des vorliegenden Patientenkollektivs lag zum Operationszeitpunkt bei $6,8 \pm 8,8$ Monaten.

Handspanne und Bewegungsumfang des Handgelenks

Die gemessene absolute Handspanne der operierten Hand zeigte abhängig von der verstrichenen Zeit zwischen Verletzung und Operation eine geringe negative, nicht signifikante Korrelation ($n=31$, $r=-0,42$, $p=0,821$). Je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation verstrichen war, desto kleiner fiel die gemessene Handspanne aus.

Der Bewegungsbogen der Pronation und Supination zeigte abhängig von der verstrichenen Zeit zwischen Verletzung und Operation eine geringe negative, nicht signifikante Korrelation ($n=31$, $r=-0,251$, $p=0,128$).

Der Bewegungsbogen der Extension und Flexion zeigte eine negative Korrelation mit dem Zeitabstand zwischen Verletzungs- und Versorgungszeitpunkt, die nicht signifikant war ($n=31$, $r=-0,144$, $p=0,389$).

Der Bewegungsbogen der Radial- und Ulnarabduktion zeigte abhängig von der verstrichenen Zeit zwischen Verletzung und Operation eine geringe negative, nicht signifikante Korrelation ($n=31$, $r=-0,139$, $p=0,457$).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich eine größere Einschränkung des Bewegungsbogens von Pronation/Supination, von Extension/Flexion sowie von Radial-/Ulnarabduktion zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigte, je weiter die Operation zeitlich vom Verletzungszeitpunkt entfernt lag.

Kraft

Zwischen den gemessenen Werte für die Grobkraft ($n=31$, $r=-0,040$, $p=0,830$) sowie der Griffkraft für Schlüssel- ($n=31$, $r=-0,095$, $p=0,610$) und Spitzgriff ($n=31$, $r=-0,078$, $p=0,677$) und dem Zeitraum zwischen Verletzung und Operation bestand jeweils eine geringe Korrelation, welche sich als nicht signifikant darstellte. Dementsprechend nahm die Kraft ab, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war.

Mayo-Wrist-Score

Zwischen der erreichten Punktzahl im Mayo-Wrist-Score und dem Alter der Verletzung zeigte sich eine geringe positive lineare Korrelation, jedoch ohne statistische Signifikanz ($n=31$, $r=0,059$, $p=0,752$). Demnach nahm die Punktzahl im Mayo-Wrist-Score zu, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation verstrichen war. Im Mayo-Wrist-Score spricht eine höhere Punktzahl für eine bessere Funktionalität und Beschwerdefreiheit des Handgelenks.

4.8.2 Auswertung der subjektiven Parameter in Abhängigkeit vom Verletzungsalter

Mit Blick auf das subjektive Empfinden der Patienten werden in diesem Abschnitt die Messparameter der Lebensqualität ausgewertet.

Ein hoher DASH-Score ist Ausdruck einer starken Beeinträchtigung im Alltag. Die Punktzahl des DASH-Scores nahm zu, je höher das Verletzungsalter war. Es zeigte sich eine geringe positive Korrelation, ohne den Nachweis einer statistischen Signifikanz zwischen den beiden Parametern ($n=31$, $r=-0,021$, $p=0,934$).

Der Schmerz in Ruhe nahm ab, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war. Es zeigte sich eine geringe negative lineare Korrelation. Es ließ sich jedoch keine statistisch signifikante Korrelation zwischen den beiden Parametern nachweisen ($n=31$, $r=0,014$, $p=0,942$).

Der Schmerz unter Belastung nahm mit höherem Verletzungsalter ab. Es zeigte sich eine negative lineare Korrelation, ohne den Nachweis einer statistischen Signifikanz zwischen den beiden Parametern ($n=31$, $r=0,079$, $p=0,672$).

Der erreichte Punktwert des PRWE-Scores nahm mit fortgeschrittenem Verletzungsalter ab. Dementsprechend ergab sich eine geringere Beeinträchtigung des Handgelenks, in Abhängigkeit des Zeitraumes zwischen Verletzung und Operation [115]. Es zeigte sich auch hier eine nicht signifikante negative lineare Korrelation ($n=31$, $r=-0,016$, $p=0,934$).

4.8.3 Auswertung der radiologischen Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter

Im folgenden Abschnitt werden die radiologischen Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter dargestellt.

Präoperativ

Die Zeit zwischen Verletzung und Operation hatte keine Auswirkung auf den präoperativen SL-Spalt. Es ließ sich daher auch keine statistische Signifikanz zwischen den beiden Parametern nachweisen ($n=31$, $r=-0,229$, $p=0,215$).

Je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war, desto größer war der präoperativ gemessene SL-Winkel. Es zeigte sich eine positive lineare Korrelation, jedoch ließ sich keine statistische Signifikanz nachweisen ($n=31$, $r=-0,003$, $p=0,989$).

Das Verletzungsalter hatte kaum Einfluss auf den präoperativ gemessenen RL-Winkel. Es ließ sich keine statistisch signifikante Korrelation nachweisen ($n=31$, $r=-0,310$, $p=0,096$).

Kurz vor ME

Mit höherem Verletzungsalter wurde der im Röntgenbild gemessene SL-Spalt kleiner. Es bestand eine negative Korrelation, die jedoch keine statistische Signifikanz hatte ($n=31$, $r=-0,229$, $p=0,215$).

Je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war, desto kleiner wurde sowohl der SL-, als auch der RL-Winkel. Beide wurden einen Tag vor ME im Röntgenbild gemessen. Es bestand jeweils eine negativ lineare Korrelation zum Verletzungsalter, welche jedoch keine statistische Signifikanz aufzeigte (SL-Winkel: $n=31$, $r=-0,010$, $p=0,955$; RL-Winkel: $n=31$, $r=0,105$, $p=0,096$).

Postoperativ

Die Zeit zwischen Verletzung und Operation und der postoperativ gemessene SL-Spalt korrelierten kaum. Es ließ sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen den beiden Parametern nachweisen ($n=31$, $r=-0,089$, $p=0,635$).

Gleiches gilt für SL- und RL-Winkel, auch diese wurden mit höherem Verletzungsalter kleiner. Diese beiden Messparameter zeigten jeweils eine negative Korrelation, jedoch wieder ohne statistische Signifikanz (SL-Winkel: $n=31$, $r=-0,089$, $p=0,635$; RL-Winkel: $n=31$, $r=0,177$, $p=0,340$).

4.8.4 Auswertung der Krankschreibungsdauer in Abhängigkeit vom Verletzungsalter

Je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war, desto länger waren die Patienten krankgeschrieben. Es war ein positiv linearer Zusammenhang zu erkennen, es bestand jedoch keine statistisch signifikante Korrelation zwischen den beiden Parametern ($n=31$, $r=0,022$, $p=0,908$).

4.9 Ergebnisse der Untersuchung der Alternativ-Gruppe

Abschließend sollen hier noch die Daten der Alternativ-Gruppe dargestellt werden.

4.9.1 Demographische Daten

Die demographischen Daten der Alternativ-Gruppe sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Demographische Daten der Alternativ-Gruppe

	Alternative Gruppe n=16
Geschlecht	
männlich	9
weiblich	7
Mittleres Alter	47,4 ± 13,0 (SD)
Operierte Seite	
rechts	7
links	19
Verletzungsmechanismus	
Verdrehtrauma	2
Sturz	9
Verkehrsunfall	5
Versicherungsstatus	
Berufsgenossenschaft	11
Private Krankenversicherung	2
Gesetzliche Krankenversicherung	3
Berufswechsel	
Zurück im alten Beruf	14
Abteilungswechsel	0
Berufswechsel	2

SD = Standardabweichung
n = Patientenzahl

4.9.2 Objektiv klinische Funktionsparameter

Die Daten der Funktionsparameter der Alternativ-Gruppe sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Darstellung der funktionellen Parameter der Alternativ-Gruppe

	Kontralateral n=16			Postoperativ n=16			Signifikanz p-Wert
	M ± SD	Median	Min - Max	M ± SD	Median	Min - Max	
Handspanne [cm]	20,6 ± 2,5	20,5	16 - 25	19,9 ± 2,7	19,5	15 - 25	0,007
Bewegungsbogen (Pronation/Supination) [°]	170 ± 0	170	170 - 170	166,3 ± 7,2	170	150 - 170	0,063
Pronation [°]	80 ± 0	80	80 - 80	78,1 ± 4,0	80	70 - 80	0,083
Supination [°]	90 ± 0	90	90 - 90	88,1 ± 4,0	90	80 - 90	0,083
Bewegungsbogen (Extension/Flexion) [°]	126,7 ± 14,8	130	88 - 145	92,9 ± 29,0	89	32 - 140	0,001
Extension [°]	62,9 ± 7,7	60,5	50 - 76	47,1 ± 15,5	45	14 - 70	0,002
Flexion [°]	63,8 ± 11,2	67,5	38 - 78	45,9 ± 15,2	45	18 - 70	0,001
Bewegungsbogen (Radial/Ulnar) [°]	80,4 ± 12,1	80	61 - 100	60,6 ± 16,9	60	36 - 90	0,001
Radialabduktion [°]	37,6 ± 7,8	37,5	28 - 50	27,2 ± 9,9	30	8 - 40	0,001
Ulnarabduktion [°]	42,8 ± 7,0	42,5	30 - 52	32,2 ± 10,0	30	20 - 50	0,001
Grobkraft [kg force]	32,2 ± 12,2	30,5	15 - 56	25 ± 13,4	22	10 - 54	0,001
Kraft des Schlüsselgriffs [kg force]	7,9 ± 2,6	7,8	4 - 13	6,5 ± 2,5	6,4	3 - 12	0,026
Kraft des Spitzgriffs [kg force]	5,8 ± 2,1	5,4	3 - 9,5	4,3 ± 1,4	4	2 - 7	0,018

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum
Mann-Whitney-U-Test

4.9.3 Subjektive Parameter

Die Daten der subjektiven Parameter der Alternativ-Gruppe sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Darstellung der Patientenzufriedenheit der Alternativ-Gruppe

	Andere Verfahren, n=16		
	M ± SD	Median	Min - Max
Schmerzen in Ruhe [VAS/10]	0,8 ± 1,5	0	0 - 5
Schmerzen unter Belastung [VAS/10]	3,5 ± 2,5	3	0 - 8
Postoperativer DASH [/100]	25,1 ± 18,8	29	0 - 56
PRWE	29,4 ± 24	24	0 - 71

M = Mittelwert, SD = Standardabweichung,
Min = Minimum, Max = Maximum

5 Diskussion

5.1 Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten wurden verschiedene operativ rekonstruktive Verfahren zur Behandlung der chronischen SL-Bandruptur vorgeschlagen. Diese reichten von reinen Weichteileingriffen, wie der Kapsulodese nach Blatt, Shaving des SL-Bandes, über Teilversteifungen (meist STT-Arthrodesen) bis hin zu Osteoligamento-Plastiken oder Rekonstruktion des SL-Bandes durch Umlenken eines Teils der Flexor-carpi-radialis-Sehne [60,67]. Der Literatur war zu entnehmen, dass die meisten Verfahren nur geringe Erfolgsaussichten boten. Unklar bleibt, ob diese Reparatursversuche überhaupt das Eintreten eines SLAC-Wrist verhindern oder zumindest verzögern können. Ziel dieser Arbeit ist es, die 3LT-Operation bei der chronischen SL-Bandruptur im Hinblick auf ihre Erfolgsaussichten einzuordnen und ihren Stellenwert herauszuarbeiten.

5.2 Auswahl der Vergleichsliteratur und Studienaufbau

Brunelli et al. berichteten 1995 erstmals über die Verwendung eines distal gestielten Streifens der Sehne des Musculus flexor carpi radialis zur Rekonstruktion des SL- Bandes [60]. Im Verlauf erfolgten weitere Modifikationen dieser Technik 1998 durch Van Den Abbeele et al. und 2006 durch Garcia-Elias et al. [47,62].

Im Folgenden werden die Ergebnisse der hiesigen Arbeit zum Einen mit Studien, die die „modifizierte Brunelli“-Technik von Van Den Abbeele et al. 1998 und zum Anderen mit Studien, die die „modifizierte Brunelli“-Technik nach Garcia-Elias et al. 2006 vorgenommen haben, verglichen und diskutiert [47,62,131].

Der Fokus lag dabei auf objektiv klinische Funktionsparameter, subjektiver Einschätzung durch den Patienten und radiologischen Daten. Die erwähnten Modifikationen wurden zum Vergleich ausgewählt, da es sich um Weiterentwicklungen der ursprünglichen Technik von Brunelli handelte. Damit waren diese biomechanisch mit der von uns angewendeten Technik am ehesten vergleichbar. Für die erwähnten Modifikationen gab es jeweils einige Vergleichsarbeiten [61,110,132–137].

Zu der modifizierten Brunelli-Technik von van den Abbeele et al., fanden sich unter anderem Studien von Talwalkar et al. (2006), Chabas et al. (2008), Links et al. (2008), Nienstedt et al. (2013) und Sousa et al. (2014) [61,62,132,133,138,139]. Hierbei handelte es sich jeweils um

retrospektive Untersuchungen mit Fallzahlen $n > 15$, bei denen die funktionellen Messwerte stets mit der gesunden kontralateralen Hand verglichen wurden.

Van den Abbeele et al. verglichen die postoperativ gemessenen funktionellen Werte mit präoperativ gemessenen Werten [62]. Da bei dem von uns untersuchten Kollektiv keine suffizienten präoperativen Werte zu ermitteln waren, konnte lediglich der Vergleich zur Hand der Gegenseite durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist ein Vergleich mit der Studie von van den Abbeele et al. leider nicht sinnvoll möglich und ein Fokus auf den Vergleich mit der Studie von Chabas et al. erscheint sinnvoll [132].

Anzumerken ist, dass die Studien von Talwalkar et al., Links et al., Nienstedt et al. und Sousa et al. zu ähnlichen Ergebnissen wie Chabas et al. gelangten und daher deren Ergebnisse hier nicht immer expliziert diskutiert werden.

Garcia-Elias et al. veröffentlichten 2006 ihre Modifikation [47]. Neben dem Autor selbst, beschäftigten sich auch Kalb et al. (2009), De Smet et al. (2013), Pauchard et al. (2013), Elgammal et al. (2016) und Athlani et al. (2019) in ihren Studien mit dem von Garcia Elias et al. beschriebenen Verfahren [9–12,16]. Bezüglich der Darstellung der funktionellen Ergebnisse der von Garcia-Elias durchgeführten Modifikation (3LT) werden wir uns auf die ursprüngliche Studie von Garcia-Elias et al. aus dem Jahr 2006 beziehen, da deren Studienaufbau am ehesten mit unserem Studienaufbau vergleichbar war. Die Studie von Garcia-Elias et al. verglich, wie auch diese Studie die postoperativen Ergebnisse von Bewegung und Kraft mit den Werten des kontralateralen Handgelenks [47]. Pauchard et al. sowie Elgammal et al. hingegen verglichen in Ihren Studien die postoperativen Ergebnisse von Kraft und Bewegung mit präoperativen Werten [134,136].

Es ist anzumerken, dass die wenigsten Autoren in ihren Arbeiten die von ihnen verwendete Technik explizit beschrieben. Die Techniken wurden meist als „modifizierte Brunelli“-Technik bezeichnet, wobei nicht weiter darauf eingegangen wurde, ob und wenn ja welche Modifikationen vorgenommen wurden [47,61,62]. So sollte beispielsweise die von Garcia-Elias bezeichnete „modifizierte Brunelli“-Technik als Tri-Ligament-Tenodese (3LT) bezeichnet werden, da nicht zuletzt Brunelli selbst die Modifikation als „falsche Brunelli-Technik“ bezeichnete [140]. Die Konfusion um die Bezeichnung führte unter anderem dazu, dass viele Autoren in Ihren Arbeiten unterschiedliche „modifizierte Brunelli“-Techniken miteinander verglichen [134,136]. Aus diesem Grund ist noch einmal hervorzuheben, dass es sich bei dem von uns untersuchten Kollektiv um eine Modifikation der 3LT-Technik von Garcia-Elias handelte, bei der zusätzlich eine Stabilisation des von Mathoulin et al. beschriebenen dorsalen capsuloscapholunären Septum (DCSS) vorgenommen wurde [105].

Beim Vergleich der Studien ist es zudem wichtig, den Follow-up-Zeitraum der einzelnen Studien zu berücksichtigen. Diesbezüglich unterscheiden sich die genannten Studien maßgeblich: Vorliegende Studie 24 Monate, Chabas et al. 37 Monate, Garcia-Elias et al. 46 Monate [47,132].

Darüber hinaus sollte auch die Zeit zwischen Unfall und operativer Versorgung der Verletzung in einen studienübergreifenden Vergleich einbezogen werden. Auf diese Thematik wird im Kapitel 5.11 ausführlicher eingegangen.

5.3 Patientenkollektiv

Unser Patientenkollektiv bestehend aus 31 Patienten kam der Größe der Studiengruppe von Garcia-Elias et al. mit 38 Patienten sehr nahe [47]. Chabas et al. lagen mit einer Patientenzahl von 19 deutlich darunter [132]. Das Geschlechterverhältnis zeigte in allen drei Studien ein klares Überwiegen des männlichen Geschlechtes. In der vorliegenden Studiengruppe waren 28 von 31 Patienten (90%), in der Studie von Garcia-Elias et al. waren 24 von 38 Patienten (63%) und bei Chabas et al. 16 von 19 Patienten (84%) männlichen Geschlechts [47,132].

Dies kann sich darauf zurückführen lassen, dass es sich bei einem großen Anteil der Verletzungen um Arbeitsunfälle handelte (vorliegende Studie 20 von 31[64%], Chabas et al. 12 von 19 [63%]) [132]. Männer führen beruflich oft körperlich beanspruchendere Tätigkeiten aus und sind daher gegenüber Frauen einem größeren Risiko ausgesetzt, von Verletzungen des skapholunären Bandapparates betroffen zu sein. Des Weiteren betreiben mehr Männer als Frauen in der Freizeit Risikosportarten die Unfälle unter anderem mit Stürzen auf das hyperextendierte Handgelenk mit axialer Krafteinwirkung provozieren [141,142].

Die Operation mittels 3LT wurde in der vorliegenden Studie vor allem bei Patienten im mittleren Erwachsenenalter durchgeführt, was sich anhand des Alters von durchschnittlich 44 Jahren (15-60 Jahre) zum Zeitpunkt der Operation erkennen ließ. Der Vergleich mit der Literatur zeigte ähnliche Altersdurchschnitte. So gaben Chabas et al. ein durchschnittliches Alter von 43 Jahren (23-57 Jahre) und Garcia-Elias et al. ein durchschnittliches Alter von 31 Jahren (18-52 Jahren) an [47,132]. Dies kann sich darauf zurückführen lassen, dass Patienten in dieser Altersgruppe in den meisten Fällen beruflich oder privat aktiv sind und damit einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind, sich zu verletzen.

5.4 Objektiv klinische Funktionsparameter

5.4.1 Bewegung

In der vorliegenden Studie zeigte sich eine durchschnittliche Flexion von 33,5° (54,6% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und eine durchschnittliche Extension von 38,5° (64,7% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe). Chabas et al. berichteten von einer durchschnittlichen Flexion von 41° (75% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und einer durchschnittlichen Extension 50° (73% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) [132]. In der Arbeit von Garcia-Elias et al. konnte eine Flexion von 51° (74% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und eine Extension von 52° (77% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) erreicht werden [47]. Im Vergleich zu den Daten der vorliegenden Studie konnte in den Studien der genannten Autoren ein größeres Bewegungsausmaß hinsichtlich Extension und Flexion erhalten bleiben.

In der vorliegenden Studie wurde eine durchschnittliche Radialabduktion von 21,4° (66% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und eine durchschnittliche Ulnarabduktion von 24,8° (57,8% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) erreicht. Die Studie von Chabas et al. berichtete von einer durchschnittlichen Radialabduktion von 24° (68% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und einer Ulnarabduktion von 29° (86% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) [132]. Garcia-Elias et al. beschrieben eine Radialabduktion von 15° (78% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) und eine Ulnarabduktion von 28° (92% im Vergleich zur kontralateralen Gruppe) [47].

Die genannten Studien zeigten, dass unabhängig davon, welche Modifikation vorgenommen wurde, postoperative Einschränkungen der Bewegung in allen vier Bewegungsrichtungen des Handgelenks im Vergleich zur gesunden bzw. nicht operierten Hand auftraten [47,132]. Das stärker eingeschränkte Bewegungsausmaß unseres Patientenkollektivs kann auf einen kürzeren Nachbeobachtungszeitraum (durchschnittlich 24 Monate) im Vergleich zu Garcia-Elias et al. (durchschnittlich 46 Monate) und Chabas et al. (durchschnittlich 37 Monate) zurückgeführt werden, da eine kürzere Nachbeobachtungszeit auch eine kürzere „Trainingszeit“ mit sich zieht [47,132]. Anzumerken ist, dass im Vergleich zu den anderen beiden Studien in unserer Studie insbesondere eine größere Einschränkung der Flexion vorlag. Dies könnte sich mit der vorgenommenen Modifikation der ursprünglichen 3LT-Methode nach Garcia-Elias begründen lassen. Im Gegensatz zu der von uns durchgeführten Transplantatbefestigung mittels dreischichtiger Stabilisation (siehe Material und Methoden), verwendeten Garcia-Elias et al. und van den Abbeele et al. ein zweischichtiges Verfahren, da diese keine DCSS-Rekonstruktion

vornahmen [47,62]. Es besteht die Möglichkeit, dass die von uns verwendete additive DCSS-Rekonstruktion und damit verbundene Fixation der dorsalen Gelenkkapsel insbesondere die Beugung reduzierte.

5.4.2 Kraft

Die erhaltene Grobkraft der vorliegenden Studie lag bei 73% im Vergleich zur kontralateralen Seite. Chabas et al. erzielten mit 78% wiedergewonnener Griffkraft im Vergleich zur kontralateralen Seite einen geringeren Kraftverlust als in der vorliegenden Studie [132]. Bei Garcia-Elias et al. blieben mit 65% wiedergewonnener Griffkraft im Vergleich zur kontralateralen Seite weniger Griffkraft erhalten [47]. Die beiden genannten Autoren gaben in ihren veröffentlichten Arbeiten nur relative Zahlen in Bezug auf die Griffkraft an, sodass ein Vergleich mit absoluten Zahlen hier nicht möglich war.

Chabas et al. und Garcia-Elias et al. sprachen in ihrer veröffentlichten Arbeit von der durchschnittlichen Griffkraft [47,132]. Es ließ sich nicht nachvollziehen, ob diese neben der Grobkraft auch den Spitz- und Schlüsselgriff miteinbezogen haben. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen, beziehen sich die von uns genannten Werte lediglich auf die Grobkraft. Die Ergebnisse der oben genannten Autoren stimmten mit unseren Ergebnissen weitestgehend überein. Bei der Betrachtung der postoperativ gemessenen Kraft zeigt sich studienübergreifend ein eindeutiger Kraftverlust der operierten Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Befunde Kraftmessung stets alters-, geschlechts- und händigkeitsabhängig sind. Hieraus folgt, dass abhängig von der Zusammenstellung des Patientenkollektivs die Ergebnisse der einzelnen Studien beeinflusst werden. Insbesondere der Einfluss der Händigkeit sollte in unsere Arbeit diskutiert werden. Da uns keine vollständigen präoperativen Werte der Patienten vorlagen, wurden die postoperative Messung des Bewegungsausmaßes und der Kraft im Vergleich zur Hand der Gegenseite durchgeführt. Es wurde angenommen, dass dies am ehesten die Bewegungseinschränkung und den Kraftverlust der operierten Seite widerspiegelt, unabhängig davon, ob es sich um die dominante Hand handelt oder nicht. Eine Studie von Clerke et al. konnte jedoch zeigen, dass bei Rechtshändern die Griffstärke der rechten Hand deutlich dominierte. Bei linksdominanten Personen hingegen konnte zwar eine höhere Griffstärke linksseitig nachgewiesen werden, dennoch zeigte sich der Seitenunterschied deutlich schwächer ausgeprägt [143]. Hieraus ergibt sich ein geringerer Kraftverlust in einer Studiengruppe mit einem großen Anteil an Rechtshändern, deren dominante Hand operiert wurde. Diese Annahme trifft auf unser Patientenkollektiv zu, da 21

von 31 Patienten (67,7%) Rechtshänder waren, die an der dominanten Hand operiert wurden. Dieser Aspekt muss bei einem direkten Vergleich mit Garcia-Elias et al. beachtet werden, da in dieser Studie hierzu keine Angaben gemacht werden [47].

Allgemein ist festzuhalten, dass auch vermeintlich objektive Messungen abhängig vom Untersucher und damit schwer reproduzierbar sind. Dies macht einen direkten Vergleich der Untersuchungsergebnisse unterschiedlicher Studien schwierig. Die Problematik einer großen Streubreite von objektiv erhobenen Messwerten zum Outcome, einhergehend mit einer schlechten Reproduzierbarkeit beschreibt auch Dawson in seiner Studie in 2001 [144].

5.5 Subjektive Parameter

5.5.1 Postoperative Schmerzen

In der vorliegenden Studie wurden die Schmerzen von den Patienten mittels der numerischen Rating-Skala (NRS) in Abhängigkeit von Ruhe und Belastung angegeben. Auch Pauchard et al. führten diese Differenzierung als eine der Wenigen in der Vergleichsliteratur durch [134]. Im Gegensatz dazu verwendeten die meisten Studien die visuelle Analogskala (VAS) um die subjektiven Schmerzen der Patienten zu erfassen. Dadurch gestaltete sich ein Vergleich der postoperativen Schmerzen mit anderen Autoren schwierig, da innerhalb der Literatur oftmals keine einheitliche Messmethode verwendet wurde.

Das Patientenkollektiv von Pauchard et al. wiesen postoperativ in Ruhe einen größeren Punktwert (VAS 1,6 Punkte) auf, als das hier untersuchte Patientenkollektiv (NRS 0,8). Gleiches galt für die Schmerzen unter Belastung, hier gaben Pauchard et al. einen Wert von 4,9 und unsere Studie einen Wert von 3,7 an [134]. Die differierenden Schmerzangaben zwischen den Studien könnten auf die unterschiedliche Geschlechterverteilung zurückgeführt werden. Die Literatur zeigt geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf die allgemeine Schmerzempfindung, wobei gezeigt werden konnte, dass Männer bei Schmerzskaleten oft niedrigere Werte angeben [145]. Des Weiteren sind wir der Meinung, dass auch die Patientenführung und Bindung einen Einfluss auf die Zufriedenheit und sogar das Schmerzerlebnis der Patienten hat. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Schmerz im Allgemeinen einen sehr subjektiven und damit einen schwer zu erfassenden relativen Parameter darstellt, der sich interindividuell schwer vergleichen lässt.

Garcia-Elias et al. teilten die Patienten einer der folgenden Gruppen zu: „Komplette Schmerzfreiheit in Ruhe“, „milde Schmerzen bei anstrengender Tätigkeit“ und „Schmerz bei den meisten Aktivitäten des Alltags“ [47]. Somit ist ein direkter Vergleich zwischen unserer

Studie und der von Garcia-Elias et al. nur in Bezug auf „komplette Schmerzfreiheit in Ruhe“ bzw. Punktwert von 0 in Ruhe möglich. In unserer Studie erlangten 21 von 31 Patienten (67,7%) und bei Garcia-Elias et al. 28 von 38 Patienten (74%) „komplette Schmerzfreiheit in Ruhe“ [47].

5.5.2 DASH-Score und PRWE

Um die subjektive muskuloskelettale Funktionalität zu messen wurde der DASH-Score von vielen Autoren verwendet [116]. In der vorliegenden Studie lag der durchschnittliche DASH-Wert bei 29 Punkten. Chabas et al. gaben in ihrer Studie einen durchschnittlichen DASH-Wert von 30 an und entsprachen damit dem Ergebnis der vorliegenden Studie [132].

In der Arbeit von Garcia-Elias et al. wurden keine Fragebögen verwendet, um das Ausmaß der subjektiven Funktionseinschränkung zu beschreiben [47]. Alternativ wird die Studie von Pauchard et al. aufgeführt, welche sich in Ihrer Arbeit auch mit der 3LT-Operation beschäftigt haben. Diese erwähnten einen durchschnittlichen DASH-Wert von 31 Punkten und waren somit mit der vorliegenden Studie und der von Chabas et al. vergleichbar [132,146].

Die Auswertung des DASH-Fragebogens der genannten Studien ergaben, dass die Patienten nach der Operation mit Einschränkungen des Handgelenks im Alltag konfrontiert waren [132,136].

Der DASH-Score fand sich in vielen Studien zur Bewertung des Outcomes der modifizierten Brunelli-Technik von van den Abbeele, wie auch zur 3-LT nach Garcia-Elias wieder. Dies lässt sich mit der Aussage von Changuliani erklären, welcher in seiner Arbeit von 2008 mehrere Scores miteinander verglich und hervorhob, dass die Funktion der Hand mit dem DASH-Score, im Vergleich zu anderen Scores (PRWE, Gartland and Werley) am besten evaluiert wird [124].

Wir erachteten den DASH-Score als einen sehr wichtigen Parameter zur Evaluierung des Outcomes der 3LT-Operation. Dieser gibt nicht nur Auskunft über die Funktionalität der operierten Hand in Alltag, Beruf und Freizeit, sondern setzt sich auch mit der psychosozialen Bedeutung auseinander, welche mit der funktionellen Einschränkung einhergeht [147]. Die Bedeutung dieses Aspekts im Besonderen ist im persönlichen Austausch im Rahmen der Nachuntersuchung deutlich geworden. Diese Aussage kann durch Gustafsson et al. und Jaquet et al., die sich in ihren Arbeiten mit der psychischen Verarbeitung von Handtraumata beschäftigten, bestätigt werden [148,149].

Im Gegensatz zum DASH-Score fand sich der PRWE-Score in der Literatur äußerst selten. Dies lässt sich mit der These begründen, dass dieser sehr spezifisch ist, aber nicht den gesamten Umfang der Einschränkung für den operierten Patienten widerspiegelt [124,150]. Dennoch

wurde der PRWE-Score in unserer Studie mit einem durchschnittlichen Wert von 31 Punkten ermittelt. Neben unserer Studie findet sich der PRWE-Score auch in der Studie von Athlani et al. und Pauchard et al. wieder, welche beide einen durchschnittlichen Punktwert von 33,6 angaben [134,146].

Insgesamt fiel eine breite Streuung der von uns gemessenen Werte in Bezug auf objektiv klinische Funktionsparameter und subjektive Einschätzung der Patienten auf. Dies führten wir zum Einen auf die jeweilige individuelle Kompensation der Einschränkungen durch die Operation zurück, zum Anderen spiegelte dies personenabhängige Einflussfaktoren wider, welche oftmals schwer zu erfassen sind. So nimmt neben den bereits erwähnten Faktoren (Alter, Geschlecht, Follow-up-Zeitraum) auch das Aktivitätslevel, der individuelle Anspruch und die Kooperationsbereitschaft der jeweiligen Patienten Einfluss auf das Outcome der Untersuchungen.

5.6 Radiologische Ergebnisse

Das Ziel war es nicht nur die klinischen Ergebnisse mit einzubeziehen, sondern auch die im Röntgen sichtbaren Veränderungen zu betrachten. Die Auswertung der Röntgenbilder fand nicht unter diagnostischem Gesichtspunkt statt, sondern zur Evaluation der Ergebnisse des 3LT-Verfahrens. Es sollte herausgefunden werden, ob durch den Eingriff der vergrößerte skapholunäre Spalt und die DISI-Fehlstellung aufgehoben wurde und mittelfristig erhalten blieb.

Die Werte für einen pathologischen Gelenkspalt variierten in der Literatur zwischen 2 und 5 mm [41,151–153]. Der durchschnittliche präoperative SL-Spalt lag beim untersuchten Patientenkollektiv bei 3,4 mm, bei Pauchard et al. bei 3,9 mm, bei Elgammal et al. bei 4 mm und bei Kalb et al. bei 3,6 mm [15,110,134,136]. Bereits hier wird die Problematik der Interobserver-Variabilität der Röntgenauswertung deutlich. Diese Variabilität ist auf unterschiedliche radiologische Methoden zur Messung und Interpretation zurück zu führen [35,41,152–154].

Für die Auswertung der SL-Diastase sind Röntgenaufnahmen in Neutralnullstellung des Handgelenks notwendig, sowohl was die Flexion und Extension, als auch die Radial- und Ulnarabduktion betrifft. Bei unkorrekter Neutralstellung können sich die Form und Lage des Skaphoids und des Lunatums stark verändern [2,57]. Durch ungenaue konventionelle Röntgenaufnahmen wird die korrekte Messung der skapholunären Diastase erheblich

erschwert. Bereits eine geringe Flexionsstellung des Handgelenks führt zu einem projektionsbedingten erweiterten skapholunären Gelenkspalt [57,155].

Eine weitere Ursache für die variierenden Angaben zum Abstand des skapholunären Gelenkspalts, könnten die uneinheitlichen Messtechniken darstellen. In der Literatur bestanden unterschiedliche Meinungen darüber, welcher der geeignetste Messpunkt im SL-Gelenk war. Cautili et al. empfahlen eine Messung zwischen dem am meisten proximal gelegenen Pol des Skaphoids ulnarseitig und des Lunatums radialseitig. Ein Abstand bis 5 mm wurde als normal beurteilt, unter der Voraussetzung, dass das Ringzeichen des Skaphoids nicht zu finden war [57,153]. Andere Autoren bevorzugten hingegen die Messung im mittleren Anteil des SL-Gelenks, weil dort unabhängig von der Gelenkkonfiguration nur eine geringe biologische Variation zu finden sei [32,128]. In der hier durchgeführten Nachuntersuchung, wurde die Messung in der mittleren Portion des skapholunären Kompartiments durchgeführt, wobei sich dabei an Schimmerl-Metz orientiert wurde [155]. Um möglichst genau zu messen, wurde die Messung im digitalen Bildverarbeitungssystem der Firma Siemens in achtfacher Vergrößerung durchgeführt. Darüber hinaus wurden zur Beurteilung der karpalen Instabilität, die von Linscheid et al. eingeführten karpalen Winkel berücksichtigt [35].

Der präoperativ gemessene SL-Winkel lag bei dem untersuchten Patientenkollektiv bei $70,2^\circ$ und fiel somit kleiner aus als bei Elgammal et al. (SL-Winkel 82°) und größer als bei Chabas et al. (SL-Winkel 61°) [132]. Die Varianz der aufgeführten Werte der SL-Winkel könnten sich auch hier auf die unterschiedlichen Röntgentechniken mit der jeweiligen Handhaltung sowie auf die unterschiedlichen Messmethoden der einzelnen Studien zurückführen lassen. Darüber hinaus führt die physiologische Variabilität der SL-Gelenkkonfiguration zu einem hohen Grad an Varianz bei den Messungen [57,153]. Daher erfolgte in der vorliegenden Studie die Untersuchung der SL-Winkel mittels der Tangentialmethode und die der RL-Winkel mittels der Axialmethode [156]. In der röntgenologischen Auswertung dieser Studie wurde sich auf die SL-Diastase, den skapholunären und den radiolunären Winkel beschränkt. Bereits durch zwei (SL-Diastase und SL-Winkel) dieser drei Kriterien wird die größtmögliche Aussagekraft des statischen Röntgenbildes erreicht und kann durch Hinzunahme eines dritten oder vierten kaum noch gesteigert werden [57].

Im Hinblick auf die Aussagekraft der Röntgendaten lässt sich sagen, dass es für eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Studien ein festgelegtes Bildgebungsprotokoll und exaktere radiologische Messmethoden zur Erhebung der Instabilität bräuchte.

Mittelfristig berichteten viele Autoren von einem Wiederauftreten von radiologischen Anomalien (SL-Spalt und DISI-Deformität) nach Durchführung der Tri-Ligament-Tenodese

[132,134,136]. Auch in der vorliegenden Studie wurde eine Zunahme des SL-Winkels und des SL-Spalts in der Nachuntersuchung im Vergleich zu den unmittelbaren postoperativen Röntgenaufnahmen festgestellt. Der durchschnittliche SL-Spalt betrug kurz vor Materialentfernung 2,9 mm, der SL-Winkel im lateralen Strahlengang betrug 49,9°. Daraus lässt sich schließen, dass die intraoperativ erreichte Reposition akzeptabel im Sinne der Normalkonfiguration war und sich bis zum Zeitpunkt der ME durch die temporäre Arthrodesse suffizient sichern ließ. Es zeigte sich jedoch, dass nach durchschnittlich 24 Monaten der skapholunäre Spalt sich wieder auf 3,8 mm erweitert und der skapholunäre Winkel sich auf 70,4° vergrößert hat. Die Erkenntnis des Ausbleibens einer dauerhafte Korrektur der karpalen Fehlstellung, konnten auch zahlreiche andere Studien gewinnen [132,135,136,138,139,157,158]. Dies traf auch auf die von Van den Abbeele modifizierte Methode, die von Chabas et al. untersucht wurde sowie auf die von Elgammal et al. untersuchte modifizierte 3LT von Garica-Elias zu [47,62].

In der Arbeit von Elgammal et al. fanden sich präoperativ ein SL-Winkel von 82° und ein SL-Spalt von 4mm, unmittelbar nach der Operation von 64° und 2,5mm und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung von 77° und 3mm [136]. Dies bewies, dass auch hier der SL-Winkel und der SL-Spalt intraoperativ durch Reposition eingestellt und zunächst durch Bandplastik und temporäre Arthrodesendrähte gehalten werden konnte. Die Entfernung der Kirschner-Drähte jedoch zum Nachgeben des Systems und somit zu einer erneuten Vergrößerung des SL-Winkels und SL-Spaltes führte. Der Follow-up-Zeitraum der Studie von Elgammal et al. belief sich wie unsere Studie auf 24 Monate, hierdurch ist eine gute Vergleichbarkeit gegeben [136].

Bezüglich des SL-Winkels fand sich in der Studie von Chabas et al. ähnlich Werte (SL-Winkel: präoperativ 61°, postoperativ 53°, Nachuntersuchung 62°; SL-Spalte: präoperativ 2,8mm, postoperativ 2,4mm, Nachuntersuchung 2,4mm) [136]. Im Gegensatz zu unserer Studie zeigte sich hier zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung jedoch keine Verbreiterung des SL-Spaltes gegenüber dem unmittelbaren postoperativen Werten [132].

Sousa et al. berichteten hingegen von einer Vergrößerung des SL-Spaltes nach einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 4 Jahren, machten jedoch keine Angaben zum skapholunären Winkel [133]. Dies ist zu kritisieren, da der SL-Winkel, mehr noch als der SL-Spalt ein Maß für die Dissoziation und die damit verbundene Instabilität ist. Dies lässt sich damit begründen, dass der SL-Spalt eine höhere Variabilität auf Grundlage der individuellen, projektionsradiografischen und Interobserver Varianz im Gegensatz zum SL-Winkel bietet und somit kein alleiniges Maß für die Instabilität darstellen sollte.

Talwalkar et al. gaben hingegen überhaupt keine röntgenologischen Daten an [47,61]. Garcia-Elias et al. erwähnten das Auftreten einer DISI in 2 von 38 Patienten (5,3%), lieferten aber außer zur Vergrößerung des radiolunären Winkels auf $>25^\circ$ bei einem Patient, keine weiteren radiologischen Daten [47]. Wir beobachteten eine Vergrößerung des radiolunären Winkels auf $> 25^\circ$ bei 2 von 31 Patienten (6,5%).

Durch das Fehlen radiologischer Daten wurde eine Vergleichbarkeit der Studien erschwert, weil der Röntgenbefund neben dem MRT der einzig relativ objektive Parameter ist, der das operative Ergebnis abbildet.

Die beschriebenen radiologischen Ergebnisse deuteten auf eine mögliche Dehnung oder auf ein Versagen des Sehnentransplantats mit der Zeit hin, welche in Folge zu einer Verschiebung der operativ korrigierten Fehlstellung des Karpus führten. Dies könnte sich auf die unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften eines Sehnentransplantats im Vergleich zu einem Bandapparat zurückführen lassen [159]. Zur Abschätzung, welchen Einfluss die Zeit auf die weitere Progredienz der DISI-Fehlstellung hat, benötigt es Studien mit einem längerfristigen Follow-up des radiologischen Verlaufes.

Es ist anzunehmen, dass die radiologisch sichtbaren Verschiebungen des Karpus ihr klinisches Korrelat in Form von postoperativ auftretenden degenerativen Veränderungen des radioskaphoidalen wie auch des mediokarpalen Gelenks haben. Dies konnte durch Studien einzelner Autoren unterstützt werden. So berichtete Pauchard et al. in 10,5%, Elgammal et al. in 15% und Garcia-Elias et al. in 23% der Fälle vom Auftreten von Arthrose der beteiligten Gelenke [47,134,136]. Bei Pauchard et al. mussten 2 von 20 Patienten (10%) und bei Elgammal et al. 3 von 20 Patienten (15%) mit einer Arthrode im Rahmen einer sekundären Operation versorgt werden. Bei zwei Patienten unseres ursprünglichen Patientenkollektivs fanden sich frühzeitig postoperativ degenerative Veränderungen. Diese wurden jedoch nicht in die Studiengruppe mit aufgenommen, da sie zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bereits mit einer mediokarpalen Teilarthrode versorgt worden waren.

Der Literatur ist zu entnehmen, dass die Prävalenz degenerativer Veränderungen mit der Dauer des Nachbeobachtungszeitraumes korreliert, was zu einer erhöhten Inzidenz degenerativer Veränderungen in den oben genannten längerfristigen Studien führt.

Angesichts der auftretenden degenerativen Veränderungen in Kombination mit dem kurzfristigen Wiederauftreten von radiologischen Anomalien bestehen Zweifel daran, dass ein Eingriff mittels des 3LT-Verfahrens einen langfristigen Schutz vor Arthrose bietet. Auch wenn viele Studien kurzfristig akzeptable Ergebnisse bezüglich der Funktion erbracht haben [134–136].

5.7 Komplikationen

Zu beachten ist, dass die Durchführung der 3LT technisch sehr anspruchsvoll ist und daher zu iatrogenen Komplikationen führen kann. Ein Patient unserer Studie erlitt im Rahmen der Operation eine Ruptur der EPL-Sehne (Sehne des M. extensor pollicis longus), welche durch primäre Naht entsprechend versorgt wurde. Diese Komplikation wurde in der Literatur im Rahmen der modifizierten Brunelli-Technik bisher nicht beschrieben. Allgemein lässt sich sagen, dass die Bandbreite von Komplikationen in der Literatur sehr heterogen ist. So kam es unter anderem bei Sousa et al. (2 von 22 Patienten) postoperativ zu avaskulären Skaphoidnekrosen, welche sich wiederum nicht in unserer Studie fanden [133].

Das komplex regionale Schmerzsyndrom (CRPS) wurde hingegen von mehreren Autoren im Rahmen postoperativer Komplikationen erwähnt [61,132,133,146]. In dem vorliegenden Patientenkollektiv war 1 von 31 Patienten (3%) von der beschriebenen Komplikation betroffen. Chabas et al. berichteten, dass 2 von 19 Patienten (11%) nach einem Eingriff mit der „modifizierte Brunelli“ von Van Den Abbeele davon betroffen waren [132,133]. In der Studie von Pauchard et al. waren 2 von 20 der Patienten (10%) betroffen [146]. Auch nach Durchführung der von Garcia-Elias bezeichneten „modifizierte Brunelli“-Technik gab es Hinweise in der Literatur für das Auftreten des CRPS [47]. Das CRPS trat im Vergleich zu den erwähnten Studien seltener in der vorliegenden Studie auf. Allerdings sind die Prozentangaben hier sehr kritisch zu betrachten, da die Fallzahlen der einzelnen Studien zu gering sind, um daraus eine gültige Aussage abzuleiten.

5.8 Berufliche Auswirkungen

In der vorliegenden Studie konnten 22 von 31 Patienten (71%) ihre zuvor ausgeführte Tätigkeit wiederaufnehmen, in der Studie von Garcia-Elias et al. konnten 29 von 38 Patienten (76,3%) und in der Studie von Chabas et al. konnten 12 von 19 Patienten (63%) wieder in ihren alten Beruf zurückkehren. Die Auswertung der Fragebögen ergab in den genannten Studien, dass die durchgeführte Operation für die Patienten häufig erhebliche Auswirkungen auf das Berufsleben hatte. Nur ca. zwei Drittel der Patienten waren in der Lage die zuvor durchgeführte berufliche Tätigkeit wiederaufzunehmen [47,132].

Des Weiteren zeigten die vorliegenden Daten dieser Studie, dass 8 von 31 Patienten (25,8%) gezwungen waren in einen Beruf mit einer geringeren Anforderung für die Hand zu wechseln und 1 von 31 Patienten (3,2%) arbeitslos blieben. Chabas et al. berichteten, dass 4 von 19

Patienten (21%) in einen Beruf mit einer geringeren Beanspruchung der Hand wechseln mussten, 2 von 19 Patienten (11%) arbeitslos und 1 von 19 (5%) berentet wurden [132]. Garcia-Elias et al. gaben an, dass 7 von 38 der Patienten (18,4%) in einen Beruf mit einer geringeren Anforderung für die Hand wechselten und 2 von 38 Patienten (5,3%) berentet wurden [47]. Somit konnte etwa ein Drittel der Betroffenen nicht zu ihren vorherigen beruflichen Tätigkeiten zurückkehren, sondern mussten innerhalb des Berufs das Aufgabenfeld wechseln oder sich einen komplett neuen Beruf suchen. Dies betraf insbesondere Menschen mit handwerklichen Berufen, da diese Berufe sowohl Kraft- und Druckausübung mit der Hand, als auch eine gewisse Flexibilität im Handgelenksbereich erfordern. Wir sind der Meinung, dass besonders Patienten, die im handwerklichen Bereich tätig sind, darüber vor der Operation aufgeklärt werden sollten.

5.9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Literatur ist zu entnehmen, dass sowohl die von Van den Abbeele et al. modifizierte Brunelli-Technik, wie auch die von Garica-Elias et al. beschrieben 3LT zu einer Einschränkung des Bewegungsausmaßes und der Griffkraft führten. Dennoch zeigte sich in den Studien, dass postoperativ eine zufriedenstellende Funktion des Handgelenks im Alltag wiederhergestellt werden konnte. Darüber hinaus beschrieben die Autoren eine akzeptable postoperative Schmerzlinderung [47,61,62,110,132–136,138,139,146]. Diese Resultate lassen sich durch die vorliegende Studie unterstützen.

Die radiographischen Ergebnisse zeigten jedoch, dass die operativ erreichte Reposition in den meisten Fällen bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nicht erhalten werden konnte. Dies impliziert unter der Annahme einer verbleibenden oder schleichend einsetzenden Instabilität des karpalen Systems eine mittel- bis langfristig einsetzende oder fortschreitende Degeneration im Sinne der posttraumatischen Arthrose.

Aus diesem Grund stehen wir der Technik als präventive Maßnahme zum langfristigen Schutz vor Arthrose kritisch gegenüber. Um jedoch eine endgültige Aussage über die langfristige Wirksamkeit der 3LT-Technik treffen zu können, sind Studien mit einem längeren Nachbeobachtungszeitraum bzw. auch eine weitere Untersuchung unseres Kollektivs zu einem späteren Zeitpunkt notwendig. Das durchschnittliche Follow-up unserer Studie und auch das der anderen Autoren in der Literatur ist nicht lang genug, um den langfristigen Nutzen der Technik zu evaluieren.

Des Weiteren sind größere Fallzahlen notwendig, um statistische Unsicherheiten zu minimieren. Die geringen Fallzahlen in der Literatur lassen sich auf die vergleichsweise geringe Inzidenz der SL-Bandruptur zurückführen. Da es sich bei der SL-Bandruptur um eine eher seltene Verletzung handelt, ist die diagnostische und therapeutische Expertise nur wenigen Zentren vorbehalten. Aus den geringen Fallzahlen ergibt sich zudem die Problematik, dass bisher keine der Studien prospektiv angelegt wurde. In der Literatur finden sich bisher nur retrospektive Studien [160].

In den Schlussfolgerungen sollte außerdem beachtet werden, dass einige der Ergebnisse auf technische Ungenauigkeiten zurückzuführen sind, da es sich um einen komplexen Eingriff handelt, der genaue Kenntnis und viel Erfahrung voraussetzt.

5.10 Vergleich von männlichen und weiblichen Patienten

In der vorliegenden Studie waren 3 von 31 Patienten (9,7%) Frauen (siehe Methodenkritik), in der Studie von Pauchard et al. waren 5 von 15 Patienten (25%) Frauen.

In der Vergleichsliteratur wurde auf Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Patienten in Bezug auf die Untersuchungsergebnisse kaum eingegangen. In der vorliegenden Studie fanden sich keine Unterschiede bei Einbeziehung des Geschlechtes.

5.11 Daten in Abhängigkeit vom Verletzungsalter

Wie beschrieben, hängt die Art der Therapie vom klinischen Stadium der SL-Bandruptur ab [47]. Darüber hinaus spielt auch die Zeit, die zwischen Verletzung und Operation der Verletzung vergangen ist, eine Rolle. Hierfür ist der Zeitpunkt der Diagnose nach Verletzung ausschlaggebend. Eine operative Versorgung der SL-Bandruptur ist besonders dann indiziert, wenn Patienten aus beruflichen und/oder privaten Gründen noch auf die Funktionsfähigkeit und Beweglichkeit der Hand angewiesen sind.

Die Angaben zur Klassifikation von SL-Bandrupturen abhängig vom verstrichenen Zeitraum zwischen Verletzungs- und Diagnosezeitpunkt variierten in der Literatur [32,131,133,161]. Garcia-Elias et al. und Geissler et al. sprachen von akuten Verletzungen, wenn diese innerhalb der ersten Woche diagnostiziert wurden, von subakuten Verletzungen, wenn die Diagnose zwischen der ersten und der sechsten Woche erfolgte und ab der sechsten Woche von chronischen Verletzungen [32]. Larsen et al. schlossen sich dieser Einteilung an und machten darüber hinaus Angaben über das Heilungspotenzial der Verletzung, abhängig vom Alter der Ruptur [162]. Crawford et al. hingegen sprachen unter drei Wochen von akuten Verletzungen,

bei drei Wochen bis drei Monaten von subakuten Verletzungen und bei über drei Monaten von chronischen Verletzungen [161]. Andersson et al. beschrieben Verletzungen, die innerhalb der ersten vier Wochen nach Trauma diagnostiziert wurden als akut, Verletzungen die innerhalb von vier Wochen bis sechs Monate diagnostiziert wurden als subakut und Verletzungen die erst nach sechs Monaten diagnostiziert wurden als chronischen Verletzungen [131]. Andersson et al. und andere Autoren waren der Meinung, dass akute Verletzungen innerhalb von vier bis sechs Wochen nach Unfallzeitpunkt operiert werden sollten. Dies begründeten die Autoren damit, dass sich die Bandenden mit der Zeit fibrotisch verändern würden, degenerieren und danach eine Primärnaht der Bänder nicht mehr möglich sei [7,131,163].

Darüber hinaus ließen sich in der Literatur keine exakten Empfehlungen für den Zeitpunkt der Durchführung von operativen Verfahren zur Behandlung chronischer SL-Bandrupturen finden. Die Auswahl der Therapie stellt jedoch insbesondere in Bezug auf das Verletzungsalter noch immer ein großes Problem dar. Daher beschäftigt sich diese Studie genauer mit der Frage, wie sich das Outcome nach stattgehabter 3LT-Rekonstruktion modifiziert nach Garcia Elias im Langzeitergebnis, in Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt in Bezug auf den Verletzungszeitpunkt darstellt. Wir schließen uns der Aussage von Larsen et al. an, dass zur genauen Beurteilung von Studienergebnisse es sinnvoll ist, das Alter der Verletzung zu erwähnen und mit einzubeziehen [162]. Die vorliegende Studie liefert hierbei wichtige Ergebnisse, da in der Vergleichsliteratur bisher nicht auf eine eventuelle Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt in Bezug auf den Verletzungszeitpunkt eingegangen wurde.

In der Literatur lassen sich Beispiele finden, die darauf hinweisen, dass akute Verletzungen eine besseres Heilungspotenzial haben [56]. Somit lässt sich schwierig nachvollziehen, ob die berichteten Ergebnisse auf die vorgeschlagene Behandlungsmethode zurück zu führen sind oder auf Verteilung von akuten und chronischen Verletzungen. Bei einigen Autoren lassen sich jedoch Angaben zum durchschnittlichen Zeitraum zwischen Unfallzeitpunkt und Versorgungszeitpunkt finden. Pauchard et al. gaben einen durchschnittlichen Zeitraum von 13,2 Monaten, Elgammal et al. von 12 Monaten und Kalb et al. von 10,5 Monaten an [110,134,136]. Der durchschnittliche Zeitraum zwischen Unfallzeitpunkt und Versorgungszeitpunkt lag in unserer Studie bei 7,7 Monaten und war somit kürzer als in den zuvor erwähnten Studien. Die Frage, ob dies an einer überlegenen Diagnostik unseres Hauses liegt, können wir mit dieser Studie nicht beantworten, da in dieser Arbeit die Diagnostik der SL-Bandruptur nicht mit einbezogen worden ist. Hierfür sind weitere Studien zu diesem Thema notwendig.

5.11.1 Objektive Funktionsparameter

Für die Supination/Pronation ($r=-0,251$), Extension/Flexion ($r=-0,144$) und Radialabduktion/Ulnarabduktion ($r=-0,251$) kam es jeweils zu einer Abnahme des ROM in Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt in Bezug auf den Unfallzeitpunkt. Demnach war die Einschränkung der Bewegung für alle Bewegungsrichtungen des Handgelenks stärker ausgeprägt, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation verstrichen ist.

Auch die Kraft des Grobgriffs ($r=-0,040$), des Schlüsselgriffes ($r=-0,095$) und des Spitzgriffes ($r=-0,078$) nahm ab, je größer der Zeitraum zwischen Verletzungs- und Versorgungszeitpunkt war.

Es ist anzunehmen, dass Patienten mit einer zeitlich verzögerten operativen Versorgung bereits vor Operation eine größere Bewegungseinschränkung mitbrachten, welche auch postoperativ bestehen blieb. Aufgrund fehlender präoperativer Werte ließ sich hier keine Aussage darüber treffen, in welchem Maß sich die Funktionalität der Hand im Vergleich zum präoperativen Zustand verhielt.

Hervorzuheben ist hier, dass bei keiner der Korrelationen ein signifikanter Unterschied bestand, daher sind weitere klinische Untersuchungen nötig, um eine Aussage bezüglich der Korrelation der Funktionalität und dem Zeitpunkt der Operation zu treffen.

5.11.2 Subjektive Parameter

Die Punktzahl des DASH-Scores ($r=-0,021$) nahm zu, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war. Dies wies auf eine zunehmende Einschränkung in den Tätigkeiten des alltäglichen Lebens hin. Auch hier fand sich kein signifikanter Unterschied. Die Tendenz der subjektiven Parameter stimmte jedoch mit der Tendenz von Bewegung und Kraft überein, sodass man hier durchaus sagen könnte, dass die funktionellen Einschränkungen einen Einfluss auf die postoperative Zufriedenheit der Patienten hatten.

Interessanterweise nahm der Schmerz in Ruhe ($r=-0,014$) und unter Belastung ($r=-0,079$) ab, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen war. Somit verhielt sich das Schmerzempfinden des Patientenkollektivs gegensätzlich zu Bewegungsausmaß, Kraft und subjektiven Parametern. Es könnte vermutet werden, dass mit der Zeit eine Gewöhnung an das Schmerzempfinden auftritt oder Vermeidungsstrategien erlernt werden, die zu einer Schonung des Handgelenks führen. Da jedoch auch hier keine signifikante Korrelation bestand, leiten wir von diesem Ergebnis keine allgemeingültige These ab. Hierfür sind weitere Studien mit größerer Fallzahl nötig.

5.11.3 Radiologische Befunde

Präoperativ hatte der Versorgungszeitpunkt auf SL-Spalt ($r=-0,229$) und RL-Winkel ($r=-0,310$) keinen Einfluss. Wir stellten jedoch fest, dass der SL-Winkel ($r=-0,003$) zunahm, je länger der Abstand zwischen Verletzungs- und Operationszeitpunkt war. SL-Spalt ($r=-0,229$), SL-Winkel ($r=-0,010$) und RL-Winkel ($r=0,105$) kurz vor ME nahmen jeweils ab, je länger der Zeitraum zwischen Verletzung und Operation war. Daraus lässt sich ableiten, dass die karpale Fehlstellung überkorrigiert wurde. Da während der Operation selbst die karpalen Knochen und Bänder manipuliert und auch mobilisiert werden, gehen wir nicht davon aus, dass das Ausmaß der Reposition im Zusammenhang mit dem Verletzungsalter der SL-Bandruptur steht.

Dieser zunächst positiv erscheinende Aspekt eines längeren Abstands zwischen Verletzung und Operation wurde mit der Tatsache, dass SL-Winkel und RL-Winkel zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung schlechter wurden, je mehr Zeit zwischen Verletzung und Operation vergangen ist, wieder revidiert. Wir gehen davon aus, dass ältere Rupturen zu einem schlechteren radiologischen Ergebnis im Follow-up führen. Unabhängig vom Verletzungsalter wird davon ausgegangen, dass die Bandplastik nach ME etwas nachgibt. Zusätzlich wird angenommen, dass mit zunehmendem Alter einer Ruptur die präoperative Verkürzung der sekundären Stabilisatoren fortschreitet und somit dem Operationsergebnis nach ME entgegenwirkt.

5.12 Alternative Methoden

In der vorliegenden Studie wurden Patienten, die mit alternativen Methoden zur 3LT-Operation behandelt wurden, untersucht. Aufgrund der geringen Anzahl der Patienten und fehlender radiologischer Daten für die einzelnen Verfahren, erschien eine umfassende Auswertung der Ergebnisse nicht sinnvoll. Dennoch gilt zu beachten, dass nicht abschließend geklärt ist, ob die 3LT-Operation den Goldstandard der Versorgung der chronischen SL-Bandruptur darstellt oder ob andere Methoden ähnliche oder sogar bessere Kurzzeit- oder Langzeitergebnisse liefern. Hierfür sind weitere Studien notwendig. Hinweise für ein gutes Outcome alternativ behandelter SL-Bandrupturen fanden sich in der Literatur bei Bleuler et al., Megerle et al., van Kampen et al., Rosenwasser et al. und Caloia et al. [63,65,131,164–166].

Bleuler et al. untersuchten die SL-Bandrekonstruktion mit Hilfe der Extensor carpi radialis longus-Sehne und sahen zufriedenstellende Ergebnisse in Bezug auf subjektive Parameter und berufliche Auswirkungen [63,167].

Eine weitere Methode stellt die dorsale Kapsulodese dar, die erstmals von Blatt beschrieben und von Megerle et al. 2012 untersucht wurde [165]. Nach einer signifikanten Verbesserung direkt nach der Operation verschlechterten sich die mittleren SL- und RL-Winkel bei der endgültigen Nachbeobachtung auf präoperative Werte. Bei 80% der Patienten fanden sich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-up 8,25 Jahre) röntgenologische Hinweise auf degenerative Veränderungen [165].

Eine Alternative zu Rekonstruktionen mit Weichteilgewebe stellen die Osteoligamentoplastiken dar [64,168,169]. Die von Van Kampen et al. 2015 durchgeführte Studie ergab, dass die klinischen und funktionellen Ergebnisse gleichwertig zu anderen Tenodese-Verfahren seien. Bezüglich der radiologischen Ergebnisse zeigten sich auch hier Anzeichen für das Fortschreiten von Arthrose. Aufgrund des technisch sehr anspruchsvollen Verfahrens distanzieren sich die Autoren jedoch von der Überlegenheit der Methode [166].

Eine weitere Möglichkeit stellt die von Herbert et al. beschriebene RASL-Methode (engl. reduction and association of the scaphoid and lunate) dar [170]. Rosenwasser et al. und Caloia et al. berichteten für die RASL-Methode von mit der vorliegenden Studie vergleichbaren funktionellen Ergebnissen [65,164].

5.13 Methodenkritik

In der vorliegenden Studie wurden präoperative funktionelle und subjektive Parameter nicht in die Auswertung einbezogen. Der Grund hierfür lag in der Unvollständigkeit der erhobenen Daten. Es kann davon ausgegangen werden, dass präoperative Daten die Ergebnisse dieser Arbeit sinnvoll unterstützt hätten und eine bessere Vergleichbarkeit gewährleistet hätten.

Weiterhin ist anzumerken, dass das Patientenkollektiv zum Gros aus männlichen Patienten bestand, weshalb der Vergleich der Parameter zwischen den Geschlechtern nur eingeschränkte Aussagekraft hat.

Generell sollte berücksichtigt werden, dass aufgrund der Anzahl der untersuchten Patienten (n=31) eine Übertragung auf die Gesamtheit der Patienten mit 3LT SL-Bandrekonstruktion nur eingeschränkt möglich ist und der Studieneinschluss weiterer Patienten zukünftig erfolgen sollte.

In der vorliegenden Studie wurde die Einteilung bezüglich einer statischen oder dynamischen Verletzung des SL-Bandes nicht vorgenommen, weshalb hierzu keine Aussage getroffen werden konnte. In der Vergleichsliteratur wurde diskutiert, ob ein operativer Eingriff mittels Bandplastiken nur bei statischer Instabilität oder auch bei dynamischer Instabilität angewendet

werden kann. Beispielsweise zeigte die Studie von Pauchard et al., dass der Eingriff die Schmerzen und die Funktion des Handgelenks von Patienten mit dynamischer Instabilität, im Gegensatz zu Patienten mit statischer Instabilität, nicht signifikant verbesserten. Die 3LT-Operation wurde daher von Pauchard et al., Athlani et al. und Kalb et al. nicht mehr für die Therapie von dynamischen Instabilitäten empfohlen [110,134,137]. Chabas et al. und Talwalkar et al. hingegen berichten in ihren jeweiligen Studien keinen signifikanten Unterschied der postoperativen Ergebnisse (ROM, Kraft und Schmerz) zwischen der dynamischen und statischen Instabilität gefunden zu haben [61,132]. Mit dieser Auffassung entsprechen sie der Indikation von Garcia-Elias et al., welcher das 3LT-Verfahren für das Stadium 3 und 4 vorsieht, unter der Bedingung, dass es sich um eine gut reponible skapholunäre Dissoziation handelt [47].

5.14 Ausblick

Für Patienten im Stadium 3 und 4 ohne rekonstruierbares SL-Band, mit reponiblen Karpus und ohne Anzeichen von Arthrose, gibt es neben der 3LT-Bandrekonstruktion noch andere chirurgische Möglichkeiten zur Behandlung. In der vorliegenden Studie wurde die SL-Bandrekonstruktion mittel 3LT untersucht. Die Entscheidung für die Untersuchung dieser Methode basierte auf einem Review von Kitay et al. aus dem Jahr 2012, die die 3LT-Operation unter den untersuchten Methoden als bevorzugte Methode herausarbeitete [7,131,163]. Es besteht eine Notwendigkeit für weitere Studien, die sich bei gleichen Studienaufbau auf alternative Operationsmethoden oder konservative Behandlungsmöglichkeiten fokussieren, um einen genaueren Vergleich zwischen den derzeit angewandten Methoden zu ermöglichen. Des Weiteren werden Studien benötigt, die mit Hilfe langfristig angelegter Untersuchungen eine Evaluation des Langzeitverlaufes nach Operation bzw. Verletzung ermöglichen. Auch neuere, aktuell in der Entwicklung befindliche alternative Methoden sollten hierbei Berücksichtigung finden [171].

6 Zusammenfassung

Bezüglich der Behandlung chronischer SL-Bandrupturen mit nicht mehr nahtfähigen Bandresten besteht noch immer kein Konsens in der Literatur. Durch fehlende adäquate Behandlung der Verletzung kommt es langfristig zu schmerzhaften Arthrosen, die mit einer erheblichen Funktionseinschränkung des Handgelenks einhergehen. Es konnte sich bisher noch kein therapeutisches Verfahren etablieren, welches sicher den Beginn oder das Fortschreiten von Arthrose langfristig verhindert.

Innerhalb der über die Jahre vorgestellten Methoden, zählt die 3LT-Rekonstruktion mittlerweile zu den gebräuchlichsten Verfahren [47].

Die bereits veröffentlichte modifizierte 3LT-Bandrekonstruktion nach Garcia-Elias wurde in der vorliegenden Arbeit um die Rekonstruktion des dorsalen capsuloscapholunäre Septums (DCSS) nach Mathoulin et al. erweitert [47,105].

Ziel der vorliegenden Studie war es den therapeutischen Nutzen der modifizierten 3LT zu untersuchen und zudem den Einfluss des Verletzungsalters zum Zeitpunkt der operativen Versorgung zu berücksichtigen.

Für diese Untersuchung wurden 31 Patienten aus Berlin und Brandenburg (3 Frauen und 28 Männer), die im Zeitraum von Januar 2014 bis Januar 2017 mit einer Verletzung des SL-Bandes detektiert und mittels der genannten Methode operativ behandelt wurden, erfasst. Die Verletzung der Patienten lag zum Zeitpunkt der Untersuchung mindestens 1 Jahr zurück. Hierdurch sollte gewährleistet werden, dass die Ergebnisse unabhängig vom Versorgungszeitpunkt gewertet werden konnten. Im Rahmen der Nachuntersuchung wurde die Funktionalität des Handgelenks bezüglich Bewegungsausmaß und Griffkraft erfasst und im Vergleich zur gesunden Gegenseite ausgewertet. Zudem werteten wir mit Hilfe von Fragebögen die postoperative subjektive Zufriedenheit aus. Des Weiteren wurden Röntgenaufnahme im dorsopalmaren und im lateralen Strahlengang angefertigt. Diese wurden ausgewertet und mit präoperativen Aufnahmen sowie mit Aufnahmen, die ein Tag vor Entfernung der K-Drähte durchgeführt wurden, verglichen. Ziel war es das Ausmaß des Wiederauftretens der SL-Diastase und die Flexion des Skaphoids im Verlauf zu beurteilen. In der statistischen Auswertung analysierten wir den Zusammenhang der erfassten Daten nach stattgehabter modifizierter 3LT-Rekonstruktion in Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt in Bezug auf den Verletzungszeitpunkt.

Wir konnten signifikante Verbesserung der Schmerzen erreichen und eine bessere Funktion der Hand im Alltag herstellen, jedoch einhergehend mit einer Reduzierung des Bewegungsausmaßes und der Griffkraft. Die radiographischen Ergebnisse zeigten, dass mittel-

bis langfristig mit einem Wiederauftreten von karpaler Fehlstellung auf Grund fortschreitender Bandlockerung und mit einhergehenden degenerativen Veränderungen zu rechnen ist. Darüber hinaus konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem Verletzungsalter und der objektiv klinischen Funktionsparameter, der subjektiven Einschätzung durch die Patienten oder der radiologischen Daten erzielt werden.

Die kurz- bis mittelfristigen Ergebnisse der SL-Bandrekonstruktion in unserer Studie waren generell vielversprechend und mit denen anderer Autoren vergleichbar [110,134–137]. Unsere Ergebnisse ähneln den Studien der anderen Autoren in Bezug auf Bewegungsumfang, Griffkraft, Schmerzlinderung und Funktionsverbesserung. Zum jetzigen Zeitpunkt stehen wir jedoch dem langfristigen Nutzen der modifizierten 3LT-Technik, bezogen auf das Auftreten von Arthrose kritisch gegenüber. Um eine abschließende Einschätzung der langfristigen Wirksamkeit der 3LT-Methode treffen zu können, braucht es zukünftig Studien mit einem längeren Nachbeobachtungszeitraum. Darüber hinaus sind Studien mit größeren Fallzahlen notwendig, um statistische Unsicherheiten zu minimieren [32].

7 Anhang

Handreha - DASH-Fragebogen

Antwortmöglichkeiten:

- 1 - keine Schwierigkeiten
- 2 – geringe Schwierigkeiten
- 3 – mäßige Schwierigkeiten
- 4 – erhebliche Schwierigkeiten
- 5 – nicht möglich

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeiten ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie den folgenden Bogen ausfüllen:

Allgemeiner Teil:

- 1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen
- 2. Schreiben
- 3. Einen Schlüssel umdrehen
- 4. Eine Mahlzeit zubereiten
- 5. Eine schwere Tür aufstoßen
- 6. Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen
- 7. Schwere Hausarbeit (z.B. Wände abwaschen, Boden putzen)
- 8. Garten- oder Hofarbeit
- 9. Betten machen
- 10. Eine Einkaufstasche oder Aktenkoffer tragen
- 11. Einen schweren Gegenstand tragen (über 5 kp)
- 12. Eine Glühbirne über dem Kopf auswechseln
- 13. Ihre Haare waschen und färben
- 14. Ihren Rücken waschen
- 15. Einen Pullover anziehen
- 16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden
- 17. Freizeitaktivitäten, die ein wenig körperliche Anstrengung verlangen (z.B. Karten spielen, Stricken usw.)
- 18. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis)
- 19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie ihren Arm frei bewegen (z.B. Badminton, Frisbee)

20. Mit Fortbewegungsmitteln zu Recht kommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)

21. Sexuelle Aktivität

22. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit der Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt?

23. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt?

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden (24.-28. Frage) während der letzten Woche ein:

24. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand

25. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit

26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand

27. Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand

28. Steifheit in Schulter, Arm oder Hand

29. Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich?

30. Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann.

Mayo-Wrist-Score

Schmerz

Kein Schmerz	25 Punkte
Leichter Schmerz	20 Punkte
Mittelgradiger Schmerz, tolerabel	15 Punkte
Mittelgradiger Schmerz bei leichter Tätigkeit	5 Punkte
Schwere Schmerzen, intolerabel/Ruheschmerz	0 Punkte

Zufriedenheit/Berufliche Tätigkeit

Sehr zufrieden/arbeitsfähig	25 Punkte
Mittelmäßig zufrieden/eingeschränkte Tätigkeit	20 Punkte

Nicht zufrieden/arbeitsfähig	15 Punkte
Nicht zufrieden/arbeitsunfähig	0 Punkte

Bewegungsausmaß

100% der Gegenseite	25 Punkte
75-99% der Gegenseite	15 Punkte
50-74% der Gegenseite	10 Punkte
25-49% der Gegenseite	5 Punkte
0-24% der Gegenseite	0 Punkte

Griffstärke

100% der Gegenseite	25 Punkte
75-99% der Gegenseite	15 Punkte
50-74% der Gegenseite	10 Punkte
25-49% der Gegenseite	5 Punkte
0-24% der Gegenseite	0 Punkte

Ergebnis:

90-100 Punkte	sehr gut
80-89 Punkte	gut
65-79	befriedigend
<65	schlecht

Name:

Untersuchungstag:

☐ Rechtshänder ☐ Linkshänder

Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode)

Schultergelenke:

Arm seitwärts / körperwärts (Abb. 1)

Arm rückwärts / vorwärts (Abb. 2)

Arm auswärts / einwärts drehen (Oberarm anliegend) (Abb. 3)

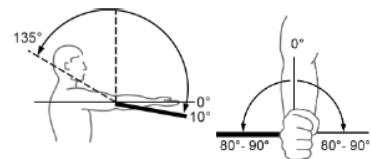
Arm auswärts / einwärts (Oberarm 90° seitwärts abgehoben) (Abb. 4)

Rechts				Links			

Ellenbogengelenke:

Streckung / Beugung (Abb. 5)

--	--	--	--	--	--	--	--



Unterarmdrehung:

auswärts / einwärts (Abb. 6)

--	--	--	--	--	--	--	--

Streck./Beugg.
Abb. 5

Drehg. ausw./einw.
Abb. 6

Handgelenke:

handrückenwärts / hohlhandwärts (Abb. 7)

speichenwärts / ellenwärts (Abb. 8)

Fingergelenke:

Abstände in cm:

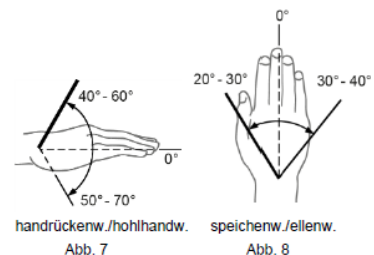
Fingerkuppe von der queren

Hohlhandbeugefalte (Abb. 9)

Fingerkuppe von der verlängerten

Handrückenebene (Abb. 10)

II	III	IV	V	II	III	IV	V



handrückenw./hohlhandw.
Abb. 7

speichenw./ellenw.
Abb. 8

Daumengelenke:

Streckung / Beugung:

Grundgelenk

Endgelenk

Abspreizung (Winkel zwischen 1. und 2. Mittelhandknochen)

In der Handebene (Abb. 11)

0				0			
---	--	--	--	---	--	--	--

Rechtwinklig zur Handebene (Abb. 12)

0				0			
---	--	--	--	---	--	--	--

II	III	IV	V	II	III	IV	V

Ankreuzen, welche Langfingerkuppen mit der Daumenspitze erreicht werden können

Handspanne:

Größter Abstand in cm zwischen Daumen- und Kleinfingerkuppe

--	--	--	--	--	--	--	--

Umfangmaße in cm:

(Hängender Arm)

15 cm oberhalb äußerem Oberarmknochen

Ellenbogengelenk

10 cm unterhalb äußerem Oberarmknochen

Handgelenk

Mittelhand (ohne Daumen)

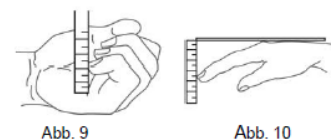


Abb. 9

Abb. 10

Schmerz (NRS/VAS 0-10):

Ruhe

Belastung

--	--	--	--	--	--	--	--

Kraft:

kg force

	R	L
Jamar		
Schlüssel		
Spitzgriff		
Dreipunkt		

DASH:

EQ5D:

--	--	--	--	--	--	--	--

8 Abkürzungsverzeichnis

AAOS	American Academy of Orthopedic Surgeons
CIA	Carpal instability adaptive
CIC	Carpal instability complex
CID	Carpal Instability dissociative
CIND	Carpal Instability non-dissociative
CLHT	Kapitatum-Lunatum.Hamatum-Triquterum
COMSS	Council of Musculoskeletal Specialty Societies
CRPS	Complex Regional Pain Syndrome
CT	Computertomographie
d	Dorsal
DASH	Disabilities of the arm, shoulder and hand
DCSS	Dorsales capsuloscapholunäres Septum
DIC	Ligamentum intercarpale dorsale
DISI	Dorsal Intercalated Segment Instability
EPL	Extensor pollicis longus
et al.	Et altera
FCR	Musculus flexor carpi radialis
HG	Handgelenk
IBM	International Business Machines
IWH	Institute Work and Health
IWIW	International Wrist Investigators' Workshop
K-Draht	Kirschner-Draht
kgF	Kilogram-force
L	Lunatum
Lig.	Ligamentum

LRL	Ligamentum radiolunatum longum
M	Mittelwert
Max	Maximum
ME	Metallentfernung
Min	Minimum
MWS	Mayo-Wrist-Score
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Patientenzahl
N.	Nervus
NRS	Numerische Rating-Skala
p	Palmar
p-Wert	Probability=Wahrscheinlichkeit, Überschreitungswahrscheinlichkeit oder Signifikanz
PACS	Picture Archiving and Communication System
PDS	Polydioxanon (Nahtmaterial)
r	Spearman Korrelationskoeffizient
R.	Ramus
PRC	Proximal Row Carpectomy
PRWE	Patient-Rated Wrist Evaluation
px	Proximal
RASL	Reduction and association of the scaphoid and lunate
RL	Radiolunär
RLT	Ligamentum radiolunotriquetrum
RLT	Ligamentum radiolunotriquetrum
ROM	Range of motion
RSC	Ligamentum radioscapohocapitatum
RSL	Ligamentum radioscapoholunatum

RSS	Rotationssubluxation des Os scaphoideum
RTq	Dorsale Radiotriquetralband
S	Skaphoid
SC	Ligamentum scaphocapitatum
SD	Standardabweichung
SL	Skapholunäre
SLAC	Scapholunate Advanced Collapse
SLC	Skaphoid-Lunatum-Kapitatum
SLD	Skapholunäre Dissoziation
SLI	Ligamentum scapholunatum
SNAC	Scaphoid Non-union Advanced Collapse
SRL	Ligamentum radiolunatum breve
ST	Ligamentum scaphotrapezium
STT	Skaphotrapeziotrapezoidal
T	Triquetrum
T0	Präoperativ
T1	Zeitpunkt vor Materialentfernung
T2	Nachuntersuchungszeitpunkt
TC	Lig. triquetrocipitatum
TFCC	Triangulärer Fibrokartilaginärer Komplex
VAS	Visueller analoger Schmerzwert
3LT	Tri-Ligament-Tenodese

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Beziehung zwischen Radius und Lig. scapholunatum aus einer radial-proximalen Perspektive. S = Skaphoid, L = Lunatum, T = Triquetrum, RSL = Lig. Radioscapholunatum, LRL = Lig. radiolunatum longum, SRL = Lig. radiolunatum breve, SLI = Lig. scapholunatum; px = proximal, d = dorsal, p = palmar [12] 2

Abbildung 2: Übersicht über die extrinsischen karpalen Bänder. **a** Ansicht von palmar. **b** Ansicht von dorsal [147] 3

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Bewegungsrichtung der Karpalknochen bei seitlicher Abweichung des Handgelenks. **a** Radialduktion/Flexion: Die proximale Karpalreihe ist in Flexionsstellung. **b** Ulnarduktion/Extension: Die proximale Karpalreihe steht in Extensionsstellung [132]. 5

Abbildung 4: Schematische Darstellung des Beginn der SL-Band-Ruptur aus der ulnaren Perspektive [60] 8

Abbildung 5: Röntgenbild in dorsopalmarer Aufnahme, rechtes Handgelenk. Darstellung des karpalen Kollapses mit Proximalisierung des Kapitatus durch Pfeil gekennzeichnet, einhergehend mit Verringerung der karpalen Höhe und Beginn von Arthrose radioskaphoidal. (1) Radius, (2) Ulna, (3) Skaphoid, (4) Lunatum, (5) Triquetrum, (6) Pisiforme, (7) Kapitatum, (8) Hamatum 9

Abbildung 6: Stadieneinteilung der SLD nach dem Fragenalgorithmus von Garcia-Elias et al. [62] 21

Abbildung 7: Zeichnung der Eröffnung der Kapsel durch Hebung eines dreieckigen Band-Kapsel-Lappens mit Berücksichtigung der dorsalen Bänder. (1) Lig. radiotriquetrum (RTq), (2) Lig. intercarpale dorsale (DIC), (3) DIC wird vom triquetralen Ansatz gelöst und ist im Lappen eingeschlossen [156] 23

Abbildung 8: Zeichnerische Darstellung der Transplantatbefestigung nach der 3LT-Technik von Garcia-Elias. (1) Lig. radiotriquetrum (RTq), (2) hinführender Schenkel des FCR-

Transplantates, (3) zurückführender Schenkel des FCR-Transplantates, (4) Skaphoid, (5) Lunatum [156]	25
--	----

Abbildung 9: Zeichnerische Darstellung der DCSS Rekonstruktion im Bereich des dorsalen SL-Bandes. Durch die Dreischichtung der gekennzeichneten Anteile wird Stabilität im dorsalen Anteil des SL-Bandes erzeugt. 1) hinführender Schenkel des FCR-Transplantates, 2) zurückführender Schenkel des FCR-Transplantates, 3) dorsale Kapsel [156].....	26
--	----

Abbildung 10: Numerische Rating-Skala (NRS) [23]	30
---	----

Abbildung 11: Röntgenbild in dorsopalmarer Aufnahme. Erweiterter skapholunärer Gelenkspalt einer alten Ruptur (Grad IV, statisch) durch Strich gekennzeichnet. (1) Radius, (2) Ulna, (3) Skaphoid, (4) Lunatum, (5) Triquetrum, (6) Pisiforme, (7) Trapezium, (8) Trapezoideum, (9) Kapitatum, (10) Hamatum.....	31
---	----

Abbildung 12: a Handgelenk im lateralen Strahlengang mit normaler karpaler Ausrichtung und mit einem normalen skapholunären Winkel von 45°, b Laterale Röntgenaufnahme eines Handgelenks mit Rotationssubluxation des Skaphoids und pathologischem Winkel von 70°. Die Skaphoidlinie wird erst an die Unterkante gelegt und kann dann verschoben werden, wobei der Winkel gleichbleibt [146].....	32
--	----

Abbildung 13: Zusammensetzung des Patientenkollektivs, 3LT-Gruppe = Patienten mit 3LT SL-Bandrekonstruktion, Alternativ-Gruppe = Patienten mit Behandlung durch alternative Methoden, n=Anzahl der Patienten.....	35
--	----

Abbildung 14: Altersverteilung. Das Alter der männlichen und weiblichen Patienten ist zum Operationszeitpunkt nicht signifikant unterschiedlich, n=31, p=1, Mann-Whitney-U-Test....	37
--	----

Abbildung 15: Übersicht über die Verteilung der Patienten in Bezug auf den Zeitraum zwischen Verletzung und Operation, n=31	38
--	----

Abbildung 16: Darstellung der medianen Handspanne in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an	40
---	----

Abbildung 17: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße für Pronation/Supination in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an	41
Abbildung 18: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße für Extension/Flexion in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an	42
Abbildung 19: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße für Extension/Flexion in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an	43
Abbildung 20: Darstellung der medianen Grobkraft in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an	44
Abbildung 21: Darstellung der medianen Griffkraft in den beiden untersuchten Gruppen, die Länge der Boxen zeigen den Interquartilsabstand, Whisker zeigen Minimum und Maximum an	44
Abbildung 22: Darstellung der Patientenverteilung der Ergebnisse des Mayo-Wrist-Scores .	45
Abbildung 23: Patientenverteilung der Ergebnisse der NRS	46
Abbildung 24: Patientenverteilung der Ergebnisse des DASH-Score	47
Abbildung 25: SL-Spalt; präoperativ, kurz vor ME, postoperativ	48
Abbildung 26: SL-Winkel; präoperativ, kurz vor ME, postoperativ	49
Abbildung 27: RL-Winkel; präoperativ, kurz vor ME, postoperativ	50

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Demographische Daten der 3LT-Gruppe	37
Tabelle 2: Darstellung der Ergebnisse von Handspanne und Bewegungsumfang des Handgelenks	39
Tabelle 3: Übersicht Kraftmessung	43
Tabelle 4: Subjektive Messparameter NRS, DASH, PRWE.....	46
Tabelle 5: Übersicht über die radiologischen Daten	48
Tabelle 6: Geschlechtervergleich objektiv klinischer Funktionsparameter	51
Tabelle 7: Vergleich subjektiver Parameter männlich/weiblich.....	51
Tabelle 8: Vergleich der Röntgendaten männlich/weiblich	52
Tabelle 9: Demographische Daten der Alternativ-Gruppe	56
Tabelle 10: Darstellung der funktionellen Parameter der Alternativ-Gruppe	57
Tabelle 11: Darstellung der Patientenzufriedenheit der Alternativ-Gruppe	57

11 Literatur

1. Breienseher M (ed). Der MR-Trainer: Obere Extremität. 2nd ed. Stuttgart, New York, Delhi, Rio: Georg Thieme Verlag; 2016.
2. Towfigh H. Kapsel-Band-Läsionen im Handgelenkbereich. In: Towfigh H, Hierner R, Langer M, Friedel R (eds). Handchirurgie. Vol 2. Springer Berlin Heidelberg New York; 2011:709–742.
3. Berger RA. The gross and histologic anatomy of the scapholunate interosseous ligament. The Journal of Hand surgery 1996;21:170–178.
4. Redeker J, Vogt PM. Karpale Instabilität. Der Chirurg 2011;82:85-93;
5. Berger RA, Imeada T, Berglund L, An KN. Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament. The Journal of Hand surgery 1999;24:953–962.
6. Almquist EE, Bach AW, Sack JT, Fuhs SE, Newman DM. Four-bone ligament reconstruction for treatment of chronic complete scapholunate separation. The Journal of Hand surgery 1991;16:322–327.
7. Kitay A, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. The Journal of Hand surgery 2012;37:2175–2196.
8. Bach AW, Almquist EE, Newman DM. Proximal row fusion as a solution for radiocarpal arthritis. The Journal of Hand surgery 1991;16:424–431.
9. Kauer JM. The Mechanism of the Carpal Joint. Clinical Orthopaedics and Related Research 1986:16–26.
10. Mitsuyasu H, Patterson RM, Shah MA, Buford WL, Iwamoto Y, Viegas SF. The role of the dorsal intercarpal ligament in dynamic and static scapholunate instability. The Journal of Hand surgery 2004;29:279–288.
11. Theumann NH, Etehami G, Duvoisin B, Wintermark M, Schnyder P, Favarger N, et al. Association between extrinsic and intrinsic carpal ligament injuries at MR arthrography and carpal instability at radiography: Initial observations. Radiology 2006;238:950–957.
12. Short WH, Werner FW, Green JK, Masaoka S. Biomechanical evaluation of ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate. The Journal of Hand surgery 2002;27:991–1002.

13. Short WH, Werner FW, Green JK, Sutton LG, Brutus JP. Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: part III. *The Journal of Hand surgery* 2007;32:297–309.
14. Dobyns, J. H. und Linscheid, R. L. A Fifty-Year Overview of Wrist Instability. In: Berger, R. A. und Weiss, A. P. C. (ed). *Hand Surgery 1*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2004:461–479.
15. Schmitt R, Fröhner S, Fodor S, Christopoulos G, Kalb KH. Radiologische Frühdiagnostik der skapholunären Dissoziation (SLD). *Der Radiologe* 2006;46:654–663.
16. Engelhardt TO, Krimmer H. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Krupp Norbert S, Rennekampff HO, Pallua N (eds). *Plastische Chirurgie: Klinik und Praxis*. Ecomed-Medizin. Landsberg: Ecomed; 2004.
17. Drewniany JJ, Palmer AK, Flatt AE. The scaphotrapezial ligament complex: an anatomic and biomechanical study. *The Journal of Hand surgery* 1985;10:492–498.
18. Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NL, Patterson RM. The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function. *The Journal of Hand surgery* 1999;24:456–468.
19. Sauerbier M, Eisenschenk A, Krimmer H, Partecke B-D, Schaller H-E (eds). *Die Handchirurgie*. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2014.
20. Gilula LA, Mann FA, Dobyns JH, Yin Y. Wrist terminology as defined by the International Wrist Investigators' Workshop (IWIW). *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* 2002;84.
21. Peter C. Amadio. Carpal kinematics and instability: A clinical and anatomic primer. *Clinical Anatomy* 1991;1–12.
22. Garcia-Elias M. The treatment of wrist instability. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 1997;79:684–690.
23. Saffar P. Luxation du carpe et instabilité résiduelle. *Annales de chirurgie de la main : organe officiel des sociétés de chirurgie de la main* 1984;3:349–352.
24. Allieu Y. Instabilité du carpe — Instabilités ligamentaires et désaxations intracarpiennes — Démembrement du concept d'instabilité du carpe. *Annales de Chirurgie de la Main* 1984;3:317–321.

25. Garcia-Elias M. Position Statement: Definition of Carpal Instability. *The Journal of Hand surgery* 1999;24:866–867.
26. Willebrand J. Skapholunäre Dissoziationen. *Orthopäde* 1999;28:878.
27. Prommersberger K-J, Mühldorfer-Fodor M, Kalb K, Schmitt R, van Schoonhoven J. Die skapholunäre Bandverletzung. *Der Unfallchirurg* 2014;117:723-37; quiz 738-9.
28. Andersson JK. Treatment of scapholunate ligament injury: Current concepts. *EFORT Open reviews* 2017;2:382–393.
29. Meier R, Prommersberger K-J, Krimmer H. Teil-Arthrodesen von Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum (STT-Fusion). *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie* 2003;35:323–327. http://www.handchirurgie-ravensburg.de/de/pdf/stt_fusion.pdf.
30. Geissler WB, Freeland AE, Savoie FH, McIntyre LW, Whipple TL. Intracarpal Soft-Tissue Lesions Associated with an Intra-Articular Fracture of the Distal End of the Radius. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 1996;78:357–365.
31. Calmez D, Kühling J, Bak P, Schmidt J. Behandlungsmanagement chronisch carpalärer Instabilitäten. *Phys Rehab Kur Med* 2007;17:35–39.
32. Garcia-Elias M, Geissler WB. Carpal instability. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC (eds). *Green's operative hand surgery*. 5th ed. New York: Churchill Livingstone; 1999.
33. Resnick D, Niwayama G. Carpal instability in rheumatoid arthritis and calcium pyrophosphate deposition disease: Pathogenesis and roentgen appearance. *Annals of the Rheumatic Diseases* 1977;1977:311–318.
34. Gharbaoui IS, Netscher DT, Kessler FB. Chronic asymptomatic contralateral wrist scapholunate dissociation. *Plastic and reconstructive surgery* 2005;116:1672–1678.
35. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 1972;54:1612–1632.
36. Wolfe SW, Neu C, Crisco JJ. In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension. *The Journal of Hand surgery* 2000;25:860–869.

37. Ruby LK, An KN, Linscheid RL, Cooney WP, Chao EYS. The effect of scapholunate ligament section on scapholunate motion. *The Journal of Hand surgery* 1987;12:767–771.
38. Howard FM, Fahey T, Wojcik E. Rotatory subluxation of the navicular. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1974:134–139.
39. Kauer JM, Lange A. The carpal joint. Anatomy and function. *Hand clinics* 1987;3:23–29.
40. Aktuelle Traumatologie. Georg Thieme Verlag KG · Stuttgart · New York; 1987.
41. Gilula LA. Carpal injuries: Analytic approach and case exercises. *AJR. American journal of roentgenology* 1979;133:503–517.
42. Watson HK, Ryu J. Evolution of arthritis of the wrist. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1986:57–67.
43. Watson HK, Ballet FL. The SLAC wrist: Scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *The Journal of Hand surgery* 1984;9:358–365.
44. Berger RA. Radial-sided carpal instability. *Instructional course lectures* 1998;47:219–228.
45. Watson HK, Weinzwieg J, Zeppieri J. The natural progression of scaphoid instability. *Hand clinics* 1997;13:39–49.
46. Kuo CE, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *The Journal of Hand surgery* 2008;33:998–1013.
47. Garcia-Elias M, Lluch AL, Stanley JK. Three-ligament tenodesis for the treatment of scapholunate dissociation: indications and surgical technique. *The Journal of Hand surgery* 2006;31:125–134.
48. Berdia S, Wolfe SW. Anatomy, biomechanics, and natural history of scapholunate interosseous ligament injuries. *Atlas of Hand Clinics* 2003;8:191–199.
https://www.katalog.fau.de/TouchPoint/singleHit.do?methodToCall=showHit&curPos=1&identifier=5_PRIMO_RESULTSET_697719101.
49. Ottonie L, Handal AG, Pitts EC, Watson H. Rotatory Subluxation of the Scaphoid: A spectrum of instability 1993;18:62–64.

50. Schneiders W, Amlang M, Rammelt S, Zwipp H. Häufigkeit der traumatischen und chronischen skapholunären Bandläsion bei distaler Radiusfraktur. Differenziertes Behandlungsschema. *Der Unfallchirurg* 2005;108:715–720.
51. Taleisnik J. Current concepts review. Carpal instability. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 1988;70:1262–1268.
52. Garcia-Elias M, Mathoulin C. Articular injury of the wrist. Stuttgart: Thieme; 2014.
53. Blevens AD, Light TR, Jablonsky WS, Smith DG, Patwardhan AG, Guay ME, et al. Radiocarpal articular contact characteristics with scaphoid instability. *The Journal of Hand surgery* 1989;14:781–790.
54. Ewert A, Mittlmeier T. Indikation und Technik der Handgelenkarthroskopie. *Der Unfallchirurg* 2007;110:49-60.
55. Krimmer H, Sauerbier M, Vispo-Seara JL, Schindler G, Lanz U. Fortgeschrittener karpaler Kollaps (SLAC-Wrist) bei Skaphoidpseudarthrose: Therapiekonzept: Mediokarpale Teilarthrodese. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie* 1992;24:191–198.
https://www.katalog.fau.de/TouchPoint/singleHit.do?methodToCall=showHit&curPos=1&identifier=5_PRIMO_RESULTSET_1917955194.
56. Palmer AK, Dobyns JH, Linscheid RL. Management of post-traumatic instability of the wrist secondary to ligament rupture. *The Journal of Hand surgery* 1978;3:507–532.
57. Pliefke J, Stengel D, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A, Eisenschenk A. Diagnostic accuracy of plain radiographs and cineradiography in diagnosing traumatic scapholunate dissociation. *Skeletal Radiology* 2008;37:139–145.
58. Cooney WP (ed). *The wrist: Diagnosis and operative treatment*. 2nd ed. Philadelphia : Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health; 2010.
59. Linscheid RL, Dobyns JH. Treatment of scapholunate dissociation. Rotatory subluxation of the scaphoid. *Hand clinics* 1992;8:645–652.
60. Brunelli GA, Brunelli GR. A New Technique to Correct Carpal Instability With Scaphoid Rotary Subluxation: A Preliminary Report. *The Journal of Hand surgery* 1995;82–85.

61. Talwalkar SC, Edwards ATJ, Hayton MJ, Stilwell JH, Trail IA, Stanley JK. Results of tri-ligament tenodesis: a modified Brunelli procedure in the management of scapholunate instability. *Journal of Hand Surgery* 2006;31:110–117.
62. Van den Abbeele KL, Loh YC, Stanley JK, Trail IA. Early Results of a Modified Brunelli Procedure for Scapholunate Instability. *Journal of Hand Surgery* 1998;23:258–261.
63. Bleuler P, Shafighi M, Donati OF, Gurunluoglu R, Constantinescu MA. Dynamic repair of scapholunate dissociation with dorsal extensor carpi radialis longus tenodesis. *The Journal of Hand surgery* 2008;33:281–284.
64. Weiss A-PC. Scapholunate ligament reconstruction using a bone-retinaculum-bone autograft. *The Journal of Hand surgery* 1998;23:205–215.
65. Rosenwasser MP, Miyasajsa KC, Strauch RJ. The RASL procedure: reduction and association of the scaphoid and lunate using the Herbert screw. *Techniques in Hand & Upper extremity surgery* 1997;1:263–272.
66. Darlis NA, Kaufmann RA, Giannoulis F, Sotereanos DG. Arthroscopic debridement and closed pinning for chronic dynamic scapholunate instability. *The Journal of Hand surgery* 2006;31:418–424.
67. Blatt G. Capsulodesis in reconstructive hand surgery. Dorsal capsulodesis for the unstable scaphoid and volar capsulodesis following excision of the distal ulna. *Hand clinics* 1987;3:81–102.
68. Busse F, Felderhoff J, Krimmer H, Lanz U. Die skapholunäre Bandverletzung. Therapie durch dorsale Kapsulodese. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie* 2002;34:173–181.
69. Deshmukh SC, Givissis P, Belloso D, Stanley JK, Trail IA. Blatt's capsulodesis for chronic scapholunate dissociation. *Journal of Hand Surgery* 1999;24:215–220.
70. Slater RR, Szabo RM, Bay BK, Laubach J. Dorsal intercarpal ligament capsulodesis for scapholunate dissociation: biomechanical analysis in a cadaver model. *The Journal of Hand surgery* 1999;24:232–239.
71. Szabo RM, Slater RR, Palumbo CF, Gerlach T. Dorsal intercarpal ligament capsulodesis for chronic, static scapholunate dissociation: clinical results. *The Journal of Hand surgery* 2002;27:978–984.

72. Uhl RL, Williamson SC, Bowman MW, Sotereanos DG, Osterman AL. Dorsal capsulodesis using suture anchors. *American Journal of Orthopedics* 1997;26:547–548.
https://www.katalog.fau.de/TouchPoint/singleHit.do?methodToCall=showHit&curPos=1&identifier=5_PRIMO_RESULTSET_1966884784.
73. Wintman BI, Gelberman RH, Katz JN. Dynamic scapholunate instability: Results of operative treatment with dorsal capsulodesis. *The Journal of Hand surgery* 1995;20:971–979.
74. Fischer T, Koch P, Saager C, Kohut GN. The radio-radial external fixator in the treatment of fractures of the distal radius. *Journal of Hand Surgery* 1999;24:604–609.
75. Bickert B, Sauerbier M, Germann G. Scapholunate ligament repair using the Mitek bone anchor. *Journal of Hand Surgery* 2000;25:188–192.
76. Packer GJ, Gill PJ, Stirrat AN. Repair of acute scapho-lunate dissociation facilitated by the "TAG" suture anchor. *Journal of Hand Surgery* 1994;19:563–564.
77. Wyrick JD, Youse BD, Kiefhaber TR. Scapholunate ligament repair and capsulodesis for the treatment of static scapholunate dissociation. *Journal of Hand Surgery* 1998;23:776–780.
78. Linscheid RL. Scapholunate ligamentous instabilities (dissociations, subdislocations, dislocations). *Annales de chirurgie de la main : organe officiel des societes de chirurgie de la main* 1984;3:323–330.
79. Cohen MS, Taleisnik J. Direct Ligamentous Repair of Scapholunate dissociation with capsulodesis augmentation. *Techniques in Hand & Upper extremity surgery* 1998;2:18–24.
80. Lavernia CJ, Cohen MS, Taleisnik J. Treatment of scapholunate dissociation by ligamentous repair and capsulodesis. *The Journal of Hand surgery* 1992;17:354–359.
81. Manuel, Jennifer, Moran, Steven L. The Diagnosis and Treatment of Scapholunate Instability. *Orthopedic Clinics of North America* 2007;38:261–277.
https://www.katalog.fau.de/TouchPoint/singleHit.do?methodToCall=showHit&curPos=1&identifier=5_PRIMO_RESULTSET_153115503.
82. Rosati M, Parchi P, Cacianti M, Poggetti A, Lisanti M. Treatment of acute scapholunate ligament injuries with bone anchor. *Musculoskeletal surgery* 2010;94:25–32.

83. Thornton L. Old dislocation of os magnum: Open reduction and stabilization. *Southern Medical Journal* 1924;17:430–433.
84. Bertheussen K. Partial carpal arthrodesis as treatment of local degenerative changes in the wrist joints. *Acta orthopaedica Scandinavica* 1981;52:629–631.
85. Campbell C, Keokarn T. Total and Subtotal Arthrodesis of the Wrist. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 1964;46:1520–1533.
86. Graner O, Lopes EI, Carvalho BC, Atlas S. Arthrodesis of the carpal bones in the treatment of Kienböck's disease, painful ununited fractures of the navicular and lunate bones with avascular necrosis, and old fracture-dislocations of carpal bones. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 1966;48:767–774.
87. Hastings DE, Silver RL. Intercarpal arthrodesis in the management of chronic carpal instability after trauma. *The Journal of Hand surgery* 1984;9:834–840.
88. Uematsu A. Intercarpal fusion for treatment of carpal instability: a preliminary report. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1979:159–165.
89. Watson HK, Belniak R, Garcia-Elias M. Treatment of scapholunate dissociation: Preferred treatment: STT fusion vs other methods. *Orthopedics* 1991;14:365–370.
https://www.katalog.fau.de/TouchPoint/singleHit.do?methodToCall=showHit&curPos=1&identifier=5_PRIMO_RESULTSET_743150826.
90. Watson HK, Ryu KJ, Akelman KE. Limited triscaphoid intercarpal arthrodesis for rotatory subluxation of the scaphoid. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 1986;68:345–349.
https://www.katalog.fau.de/TouchPoint/singleHit.do?methodToCall=showHit&curPos=1&identifier=5_PRIMO_RESULTSET_1656867234.
91. Kleinman WB, Carroll C. Scapho-trapezio-trapezoid arthrodesis for treatment of chronic static and dynamic scapho-lunate instability: A 10-year perspective on pitfalls and complications. *The Journal of Hand surgery* 1990;15:408–414.
92. Viegas SF, Patterson RM, Peterson PD, Pogue DJ, Jenkins DK, Sweo TD, et al. Evaluation of the biomechanical efficacy of limited intercarpal fusions for the treatment of scapho-lunate dissociation. *The Journal of Hand surgery* 1990;15:120–128.

93. Pisano SM, Peimer CA, Wheeler DR, Sherwin F. Scaphocapitate intercarpal arthrodesis. *The Journal of Hand surgery* 1991;16:328–333.
94. Watson HK, Weinzweig J, Guidera PM, Zeppieri J, Ashmead D. One thousand intercarpal arthrodeses. *Journal of Hand Surgery* 1999;24:307–315.
95. Hom S, Ruby LK. Attempted scapholunate arthrodesis for chronic scapholunate dissociation. *The Journal of Hand surgery* 1991;16:334–339.
96. Siegel JM, Ruby LK. A critical look at intercarpal arthrodesis: Review of the literature. *The Journal of Hand surgery* 1996;21:717–723.
97. Campbell PJ. Re: the dart-throwing motion of the wrist. Is it unique to humans? *The Journal of Hand surgery* 2007;32:747-8; author reply 747.
98. DiDonna ML, Kiefhaber TR, Stern PJ. Proximal Row Carpectomy: Study with a Minimum of Ten Years of Follow-up. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* 2004;86:2359–2365.
99. Dacho AK, Baumeister S, Germann G, Sauerbier M. Comparison of proximal row carpectomy and midcarpal arthrodesis for the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist) in stage II. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS* 2008;61:1210–1218.
100. Vanhove W, Vil J de, van Seymortier P, Boone B, Verdonk R. Proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis as a treatment for SLAC (scapholunate advanced collapse) wrist. *The Journal of hand surgery, European volume* 2008;33:118–125.
101. Ward CM, Kuhl T, Adams BD. Five to ten-year outcomes of the Universal total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* 2011;93:914–919.
102. Wilhelm A. Die Gelenkdenervation und ihre anatomische Grundlage. *Unfallheilkunde* 1966:1–109.
103. Dobyns JH, Linscheid RL, Chao EYS, Weber ER, Swanson GE. Traumatic instability of the wrist. In: *American Academy of Orthopaedic Surgeons (ed). Instructional course lectures*; 1975:189–199.

104. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic Instability of the Wrist. The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume 2002;84:142.
105. Mathoulin CL, Dauphin N, Wahegaonkar AL. Arthroscopic Dorsal Capsuloligamentous Repair in Chronic Scapholunate Ligament Tears. Hand Clinics 2011;27:563–572.
106. Deweese MD, Brown DC, Hayashi K, Blake C, Anglin E, Morris K, et al. Observer Variability of Arthroscopic Cartilage Grading Using the Modified Outerbridge Classification System in the Dog. Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology : V.C.O.T 2019;32:126–132.
107. Berger RA, Bishop AT, Bettinger PC. New Dorsal Capsulotomy for the Surgical Exposure of the Wrist. Annals of Plastic Surgery 1995;35:54-59.
108. Berger RA. A method of defining palpable landmarks for the ligament-splitting dorsal wrist capsulotomy. The Journal of Hand surgery 2007;32:1291–1295.
109. Vogel A, Vogel K. Eichenauer Modifikation der 3LT. Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie, BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland.
110. Kalb K, Blank S, van Schoonhoven J, Prommersberger K-J. Die Fesselung des Kahnbeins nach Brunelli in der Modifikation nach Garcia-Elias, Lluch und Stanley zur Behandlung der veralteten skapholunären Dissoziation. Operative Orthopädie und Traumatologie 2009;21:429–441.
111. van Overstraeten L, Camus EJ, Wahegaonkar A, Messina J, Tandara AA, Binder AC, et al. Anatomical Description of the Dorsal Capsulo-Scapholunate Septum (DCSS)-Arthroscopic Staging of Scapholunate Instability after DCSS Sectioning. Journal of Wrist Surgery 2013;2:149–154.
112. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode); 2017. www.dguv.de/formtexte/aerzte/index.jsp.
113. Green DP, O'Brien ET. Open reduction of carpal dislocations: indications and operative techniques. The Journal of Hand surgery 1978;3:250–265.
114. Cooney WP, Bussey R, Dobyns JH, Linscheid RL. Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist. Clinical Orthopaedics and Related Research 1987:136–147.

115. Slutsky DJ. Outcomes assessment in wrist surgery. *Journal of Wrist Surgery* 2013;2:1–4.
116. Atroshi I, Gummesson C, Andersson B, Dahlgren E, Johansson A. The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: reliability and validity of the Swedish version evaluated in 176 patients. *Acta orthopaedica Scandinavica* 2000;71:613–618.
117. Dubert T, Voche P, Dumontier C, Dinh A. Le questionnaire DASH. Adaptation française d'un outil d'évaluation international. *Chirurgie de la main* 2001;20:294–302.
118. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: The DASH (disabilities of the arm, shoulder, and hand). *American journal of industrial medicine*;1996:602–608.
119. Germann G, Wind G, Harth A. Der DASH-Fragebogen-Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie* 1999;31:149–152.
120. Horng Y-S, Lin M-C, Feng C-T, Huang C-H, Wu H-C, Wang J-D. Responsiveness of the Michigan Hand Outcomes Questionnaire and the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand questionnaire in patients with hand injury. *The Journal of Hand surgery* 2010;35:430–436.
121. Wong JYP, Fung BKK, Chu MML, Chan RKY. The use of Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire in rehabilitation after acute traumatic hand injuries. *Journal of hand therapy : official journal of the American Society of Hand Therapists* 2007;20:49-55; quiz 56.
122. Jester A, Harth A, Germann G. „Disability of Arm, Shoulder and Hand“-Fragebogen. *Trauma Berufskrankh* 2008;10:381–383.
123. MacDermid JC, Turgeon T, Richards RS, Beadle M, Roth JH. Patient rating of wrist pain and disability: a reliable and valid measurement tool. *Journal of orthopaedic trauma* 1998;12:577–586.
124. Changulani M, Okonkwo U, Keswani T, Kalairajah Y. Outcome evaluation measures for wrist and hand: which one to choose? *International Orthopaedics* 2008;32:1–6.

125. Boonstra AM, Stewart RE, Köke AJA, Oosterwijk RFA, Swaan JL, Schreurs KMG, et al. Cut-Off Points for Mild, Moderate, and Severe Pain on the Numeric Rating Scale for Pain in Patients with Chronic Musculoskeletal Pain: Variability and Influence of Sex and Catastrophizing. *Frontiers in psychology* 2016;7:1466.
126. Bortz J, Döring N. *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4th ed. Springer-Lehrbuch Bachelor, Master. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.; 2006.
127. Schernberg F, Truong NP, Mann FA, Gilula LA (eds). *Wrist Instability Series Imaging Wrist Hand*. WB Saunders, Philadelphia, S 169–202: An Overview. Gilula LA, Yin Y (Hrsg); 1996.
128. Kindynis P, Resnick D, Kang HS, Haller J, Sartoris DJ. Demonstration of the scapholunate space with radiography. *Radiology* 1990;175:278–280.
129. Tischler BT, Diaz LE, Murakami AM, Roemer FW, Goud AR, Arndt WF, et al. Scapholunate advanced collapse: a pictorial review. *Insights into imaging* 2014;5:407–417.
130. Nakamura R, Hori M, Imamura T, Horii E, Miura T. Method for measurement and evaluation of carpal bone angles. *The Journal of Hand surgery* 1989;14:412–416.
131. Andersson JK, Garcia-Elias M. Dorsal scapholunate ligament injury: a classification of clinical forms. *The Journal of hand surgery, European volume* 2013;38:165–169.
132. Chabas J-F, Gay A, Valenti D, Guinard D, Legre R. Results of the modified Brunelli tenodesis for treatment of scapholunate instability: a retrospective study of 19 patients. *The Journal of Hand surgery* 2008;33:1469–1477.
133. Sousa M, Aido R, Freitas D, Trigueiros M, Lemos R, Silva C. Scapholunate ligament reconstruction using a flexor carpi radialis tendon graft. *The Journal of Hand surgery* 2014;39:1512–1516.
134. Pauchard N, Dederichs A, Segret J, Barbary S, Dap F, Dautel G. The role of three-ligament tenodesis in the treatment of chronic scapholunate instability. *The Journal of hand surgery, European volume* 2013;38:758–766.

135. De Smet L, Goeminne S, DeGreef I. Does the “three-ligament tenodesis” procedure restore carpal architecture in static chronic scapholunate dissociation ? *Acta Orthop. Belg.* 2013;79:271–274.
136. Elgammal A, Lukas B. Mid-term results of ligament tenodesis in treatment of scapholunate dissociation: a retrospective study of 20 patients. *The Journal of hand surgery, European volume* 2016;41:56–63.
137. Athlani L, Pauchard N, Dautel G. Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers. *The Journal of hand surgery, European volume* 2018;43:387–393.
138. Links AC, Chin SH, Waitayawinyu T, Trumble TE. Scapholunate interosseous ligament reconstruction: results with a modified Brunelli technique versus four-bone weave. *The Journal of Hand surgery* 2008;33:850–856.
139. Nienstedt F. Treatment of static scapholunate instability with modified Brunelli tenodesis: results over 10 years. *The Journal of Hand surgery* 2013;38:887–892.
140. Brunelli G. Re: Modified Brunelli's procedure to cure carpal instability due to scapholunate disassociation. *The Journal of hand surgery, European volume* 2009;34:139–140.
141. Schmitt R, Christopoulos G, Meier R, Coblenz G, Fröhner S, Lanz U, et al. Direkte MR-Arthrographie des Handgelenks im Vergleich zur Arthroskopie: Eine prospektive Studie an 125 Patienten. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2003;175:911–919.
142. Schädel-Höpfner M, Iwinska-Zelder J, Braus T, Böhringer G, Klose KJ, Gotzen L. MRI versus arthroscopy in the diagnosis of scapholunate ligament injury. *Journal of Hand Surgery* 2001;26:17–21.
143. Clerke A, Clerke J. A Literature Review of the Effect of Handedness on Isometric Grip Strength Differences of the Left and Right Hands. *American Journal of Occupational Therapy* 2001;55:206–211.
144. Dawson J, Carr A. Outcomes evaluation in orthopaedics. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 2001;83-B:313–315.

145. Oliver P. Gautschi. Schmerzempfinden und Lebensqualität: Gibt es Geschlechtsunterschiede? *Swiss Medical Forum*;2016:17–18.
146. Athlani L, Pauchard N, Dap F, Dautel G. Treatment of chronic scapholunate instability: Results with three-ligament tenodesis vs. scapholunate and intercarpal ligamentoplasty. *Hand Surgery & Rehabilitation* 2019;38:157–164.
147. Meyer TM. Psychological aspects of mutilating hand injuries. *Hand clinics* 2003;19:41–49.
148. Gustafsson M, Persson L-O, Amilon A. A qualitative study of coping in the early stage of acute traumatic hand injury. *Journal of Clinical Nursing* 2002;11:594–602.
149. Jaquet J-B, Kalmijn S, Kuypers PDL, Hofman A, Passchier J, Hovius SER. Early psychological stress after forearm nerve injuries: a predictor for long-term functional outcome and return to productivity. *Annals of Plastic Surgery* 2002;49:82–90.
150. Dowrick AS, Gabbe BJ, Williamson OD, Cameron PA. Outcome instruments for the assessment of the upper extremity following trauma: a review. *Injury* 2005;36:468–476.
151. Frankel VH. The Terry-Thomas sign. *Clin.Orthop.Relat Res* [129];1977:321-322.
152. Belsole RJ. Radiography of the wrist. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1986:50–56.
153. Cautilli GP, Wehbe MA. Scapho-lunate distance and cortical ring sign. *The Journal of Hand surgery* 1991;16:501–503.
154. Schernberg F. Roentgenographic examination of the wrist: a systematic study of the normal, lax and injured wrist. Part 1: The standard and positional views. *Journal of Hand Surgery* 1990;15:210–219.
155. Schimmerl-Metz SM, Metz VM, Totterman SM, Mann FA, Gilula LA. Radiologic measurement of the scapholunate joint: implications of biologic variation in scapholunate joint morphology. *The Journal of Hand surgery* 1999;24:1237–1244.
156. Larsen CF, Stigsby B, Lindequist S, Bellstrøm T, Mathiesen FK, Ipsen T. Observer variability in measurements of carpal bone angles on lateral wrist radiographs. *The Journal of Hand surgery* 1991;16:893–898.

157. Ellanti P, Sisodia G, Al-Ajami A, Ellanti P, Harrington P. The modified Brunelli procedure for scapholunate instability: a single centre study. *Hand surgery : an international journal devoted to hand and upper limb surgery and related research : journal of the Asia-Pacific Federation of Societies for Surgery of the Hand* 2014;19:39–42.
158. Moran SL, Ford KS, Wulf CA, Cooney WP. Outcomes of dorsal capsulodesis and tenodesis for treatment of scapholunate instability. *The Journal of Hand surgery* 2006;31:1438–1446.
159. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK. Carpal dislocations: Pathomechanics and progressive perilunar instability. *The Journal of Hand surgery* 1980;5:226–241.
160. Lögters T, Windolf J. Karpale Verletzungen. In: Ruchholtz S, Bücking B, Schulz R-J (eds). *Alterstraumatologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2016.
161. Crawford K, Owusu-Sarpong N, Day C, Iorio M. Scapholunate Ligament Reconstruction: A Critical Analysis Review. *JBJS reviews* 2016;4:e41-8.
162. Larsen CF, Amadio PC, Hodge JC. Analysis of Carpal Instability: I. Description of the Scheme. *The Journal of Hand surgery* 1995;757-746.
163. Chennagiri RJR, Lindau TR. Assessment of scapholunate instability and review of evidence for management in the absence of arthritis. *The Journal of hand surgery, European volume* 2013;38:727–738.
164. Caloia M, Caloia H, Pereira E. Arthroscopic scapholunate joint reduction. Is an effective treatment for irreparable scapholunate ligament tears? *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2012;470:972–978.
165. Megerle K, Bertel D, Germann G, Lehnhardt M, Hellmich S. Long-term results of dorsal intercarpal ligament capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 2012;94:1660–1665.
166. van Kampen RJ, Bayne CO, Moran SL, Berger RA. Outcomes of Capitohamate Bone-Ligament-Bone Grafts for Scapholunate Injury. *Journal of Wrist Surgery* 2015;4:230–238.
167. Peterson SL, Freeland AE. Scapholunate stabilization with dynamic extensor carpi radialis longus tendon transfer. *The Journal of Hand surgery* 2010;35:2093–2100.

168. Svoboda SJ, Eglseder WA, Belkoff SM. Autografts from the foot for reconstruction of the scapholunate interosseous ligament. *The Journal of Hand surgery* 1995;20:980–985.
169. Harvey EJ, Berger RA, Osterman AL, Fernandez DL, Weiss A-P. Bone–Tissue–Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. *The Journal of Hand surgery* 2007;32:256–264.
170. Herbert TJ, Hargreaves IC, Clarke AM. A new surgical technique for treating rotary instability of the scaphoid. *Hand Surg.* 1996;01:75–77.
171. Kakar S, Greene RM, Garcia-Elias M. Carpal Realignment Using a Strip of Extensor Carpi Radialis Longus Tendon. *The Journal of Hand surgery* 2017;42:667.e1-667.e8.

12 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

15.12.2020

Wiebke Mensing

13 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Andreas Eisenschenk danke ich für die Vergabe dieses Dissertationsthemas, die gute Betreuung und stetige Unterstützung.

Bei Frank Eichenauer und Dr. Jenny Dornberger bedanke ich mich für die Einführung und Erarbeitung des Themas, die ständige Unterstützung sowie für das fleißige Korrekturlesen.

Bei Dr. Simon Kim bedanke ich mich für die optimale Betreuung, die ständige Erreichbarkeit und für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Dr. Karla und Arnulf Vogel möchte insbesondere danken, dass diese mir Ihre selbst gezeichneten Bilder zur Verfügung gestellt haben.

Natürlich bedanke ich mich auf diesem Wege bei Michael Zellmann für den emotionalen Beistand und die Unterstützung in strukturellen und statistischen Fragen, bei meiner Familie für die bedingungslose finanzielle Unterstützung, bei Lisa Eckstein, da geteiltes Leid nur halbes Leid ist und bei Yona Pössnecker die mir mal wieder beim letzten Feinschliff geholfen hat.